



TESIS - TE142599

**OPERASI OPTIMUM STAND-ALONE MICROGRID
MENGUNAKAN METODE CUCKOO SEARCH
OPTIMIZATION DENGAN MEMPERTIMBANGKAN
KARAKTERISTRIK UMUR BATERAI**

VICKY ANDRIA KUSUMA
2214201205

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Dr. Rony Seto Wibowo, ST, MT

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017



TESIS - TE142599

**OPERASI OPTIMUM STAND-ALONE MICROGRID
MENGUNAKAN METODE CUCKOO SEARCH
OPTIMIZATION DENGAN MEMPERTIMBANGKAN
KARAKTERISTRIK UMUR BATERAI**

VICKY ANDRIA KUSUMA
2214201205

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
Dr. Rony Seto Wibowo, ST, MT

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2017

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Vicky Andria Kusuma
NRP. 2214201205

Tanggal Ujian : 12 Juni 2017
Periode Wisuda : September 2017

Disetujui oleh:

1. Prof. Ir. H. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D. (Pembimbing I)
NIP: 194907151974121001
2. Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT. (Pembimbing II)
NIP: 197411292000121001
3. Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D. (Penguji)
NIP: 197311192000031001
4. Dr.Eng. I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc. (Penguji)
NIP: 197007121998021001
5. Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D. (Penguji)
NIP: 198006032006041003



Dekan Fakultas Teknologi Elektro

Dr. Irfan Sardjono, S.T., M.T
NIP. 197002121995121001

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul **“OPERASI OPTIMUM STAND-ALONE MICROGRID MENGGUNAKAN METODE *CUCKOO SEARCH OPTIMIZATION* DENGAN MEMPERTIMBANGKAN KARAKTERISTIK UMUR BATERAI”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juni 2017



Vicky Andria Kusuma

NRP. 2214201205

OPERASI OPTIMUM STAND-ALONE MICROGRID MENGUNAKAN METODE *CUCKOO SEARCH* OPTIMIZATION DENGAN MEMPERTIMBANGKAN KARAKTERISTIK UMUR BATERAI

Nama mahasiswa : Vicky Andria Kusuma
NRP : 2214201205
Pembimbing : 1. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
2. Dr. Rony Seto Wibowo, ST, MT

ABSTRAK

Microgrid adalah suatu sistem kelistrikan yang terdiri dari lebih dari satu generator energi terbarukan. Sumber energi listrik yang digunakan untuk mensuplai sistem microgrid didapatkan dari sumber energi terbarukan dan dari sumber energi yang tersimpan pada baterai. Pada penelitian ini sistem microgrid yang digunakan adalah Stand Alone yang tidak terhubung dengan sistem jaringan pembangkit Negara atau Perusahaan listrik Negara, menggunakan *Diesel Engine* (DE), *Wind Turbine* (WT) dan *Photovoltaic* (PV), sebagai pembangkit energi listrik pada sistem. Baterai digunakan sebagai media pemasok cadangan energi untuk mempertahankan utilitas dari sistem Stand Alone Microgrid. Saat Distributed Generator tidak dapat memberikan energi yang diharapkan, sistem akan menggunakan DE dan baterai sebagai energi cadangan. Penyimpanan daya pada sistem akan diatur dengan mempertimbangkan *energy management system* (EMS) untuk membuat sistem microgrid bekerja secara optimal. State of charge (SOC) akan diperhatikan dalam sistem operasi microgrid, saat kondisi charging dan discharging sehingga life time dari baterai dapat dimaksimalkan.

Operasi optimum pada sistem ini ditujukan untuk meminimalkan biaya pembangkitan serta memaksimalkan umur baterai. Metode operasi optimum sistem microgrid tersebut menggunakan metode *Cuckoo Search Optimization* (CSO) yang nantinya akan dibandingkan dengan metode lainnya. Dari hasil simulasi diketahui bahwa metode CSO memiliki biaya pembangkitan yang lebih rendah jika dibandingkan dengan PSO meskipun tidak terlalu signifikan, yaitu \$ 853.0304 Untuk metode CSO dan \$ 792.0302 untuk metode PSO pada studi kasus I. untuk metode CSO didapatkan total *life loss cost* \$ 7.72 dan untuk metode PSO sebesar \$ 15.51 pada studi kasus I.

Kata kunci: baterai, *cuckoo search optimization*, microgrid, operasi optimum, umur.

Halaman ini sengaja dikosongkan

OPERATION OPTIMUM OF STAND ALONE MICROGRID CONSIDERING LIFETIME CHARACTERISTICS OF BATTERY ENERGY STORAGE USING CUCKOO SEARCH OPTIMIZATION

By : Vicky Andria Kusuma
Student Identity Number : 2214201205
Supervisor(s) : 1. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc., Ph.D.
2. Dr. Rony Seto Wibowo, ST, MT

ABSTRACT

Microgrid is an electrical system that consist of more than one generator of renewable energy. Source of electrical energy obtained from the grid system, renewable energy sources and renewable energy storage. In this study microgrid system used Stand Alone are not connected to the utility grid system, using a Diesel Engine, Wind Turbine and Photovoltaic, as electrical energy generation on the system. Batteries are used as a backup suppliers of energy to maintain the utility of the stand alone microgrid system. When Distributed Generator can not deliver the expected energy, the system will use the Diesel Engine and battery as an energy reserve. Power storage system will be set taking into account the Energy Management System (EMS) to create a microgrid system to work optimally. State of charge (SOC) will be considered in the operating system microgrid, when conditions charge or discharging, battery life time can be maximized.

The optimum operation of this system is to minimize the generation cost and maximize battery life. The method of operation optimum microgrid system using Cuckoo Search Optimization (CSO) method has been compared by Particle Swarm Optimization (PSO). In study case I, the best generation cost result of CSO method is \$ 853.0304, and \$ 792.0302 result of PSO method, on study case I. Result of battery total life loss cost using CSO obtained \$ 7.72 and \$ 15.51 on study case 1.

Key words: battery, cuckoo search optimization, microgrid, optimum operation, lifetime.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah saya panjatkan kehadiran Allah SWT yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga saya mampu menyelesaikan tesis yang berjudul:

OPERASI OPTIMUM STAND ALONE MICROGRID MENGGUNAKAN METODE CUCKOO SEARCH OPTIMIZATION DENGAN MEMPERTIMBANGKAN KARAKTERISTRIK UMUR BATERAI

Penulisan tesis ini dibuat dengan maksud untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi S2 pada bidang studi Teknik Sistem Tenaga Jurusan Teknik Elektro ITS.

Dalam menyelesaikan tesis dan studi S2 ini, banyak pihak yang turut membantu, memberi dukungan, serta semangat kepada penulis. Untuk itu, saya ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua saya yang telah memberikan dukungan dan do'a yang terus menerus mengalir kepada penulis hingga detik-detik terakhir penyelesaian Tesis ini
2. Prof. Ir. Ontoseno Penangsang, M.Sc, Ph.D dan Dr. Rony Seto Wibowo, ST, MT selaku dosen pembimbing tesis atas bimbingan, perhatian, dan berbagai hal lain yang sudah dibagikan kepada penulis
3. Seluruh dosen Bidang Sistem Tenaga Jurusan teknik Elektro yang telah memberikan bimbingan dan pengajaran kepada penulis
4. Seluruh member aktif dan alumni laboratorium PSSL teknik Elektro ITS yang telah memberikan bimbingan dan pengajaran kepada penulis
5. Teman-teman S2 Teknik Sistem Tenaga 2014 lain, khususnya untuk Mas yuli yang selalu siap sedia berbagi ilmu.

Besar harapan penulis agar tesis ini dapat memberikan manfaat dan masukan bagi pembaca. Penulis menyadari tesis ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh

karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk pengembangan kearah yang lebih baik.

.

Surabaya, 23 Maret 2017

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iii
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR.....	ixi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Kontribusi	3
1.6 Metodologi Penelitian	3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Stand Alone Microgrid.....	5
2.2 Penyimpanan Sistem Energi baterai pada Stand Alone Microgrid	7
2.3 Pemodelan Optimisasi Pembangkit pada Stand Alone Microgrid	7
2.3.1 Model Optimisasi <i>Photovoltaic</i> (PV)	8
2.3.2 Model Optimisasi <i>Wind Turbine</i> (WT)	10
2.3.3 Model Optimisasi Baterai.....	12
2.3.4 Model Optimisasi <i>Diesel Engine</i>	15
2.2.1 <i>Constrains</i>	15
2.4 <i>Cuckoo Search Optimization</i> (CSO)	17
2.5 <i>Particle Swarm Optimization</i> (PSO)	20
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Data Penelitian	25
3.2 Metode Penyelesaian Multiobjective menggunakan Metode Weigh Sum..	26

3.3	Strategi Operasi Optimum untuk meminimalkan biaya pembangkitan dan kerugian umur baterai	27
3.4	Penyelesaian Multiobjective Menggunakan Metode CSO	28
3.5	Penyelesaian Multiobjective Menggunakan Metode PSO.....	29
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		31
4.1	Karakteristik Pembangkit.....	31
4.1.1	<i>Photovoltaic</i>	31
4.1.2	<i>Wind Turbine</i>	33
4.2	Karakteristik Beban	34
4.3	Parameter Pembangkit	36
4.4	Simulasi Pengaturan daya pada Stand Alone Microgrid	37
4.4.1	Studi Kasus I	38
4.4.2	Studi Kasus II.....	40
4.4.3	Penyelesaian Multiobjective menggunakan Metode PSO	43
4.4.4	Penyelesaian Multiobjective menggunakan Metode CSO.....	48
4.4.5	Perbandingan Hasil Penyelesaian Multiobjective menggunakan metode PSO dan CSO	54
BAB 5 KESIMPULAN.....		55
DAFTAR PUSTAKA		57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Stand alone microgrid.....	6
Gambar 2.2 Kurva daya output terhadap kecepatan angin dari AIR403	10
Gambar 2.3 Diagram alir <i>Cuckoo Search Optimization</i>	19
Gambar 2.4 Diagram alir <i>Particle Swarm Optimization</i>	22
Gambar 3.1 Diagram alir Penelitian	23
Gambar 3.2 Diagram alir microgrid Tiap jam	24
Gambar 3.3 Sistem distribusi IEEE 30 bus	25
Gambar 4.1 Karakteristik radiasi matahari.....	31
Gambar 4.2 Karakteristik temperatur	32
Gambar 4.3 Output daya <i>Photovoltaic</i>	33
Gambar 4.4 karakteristik kecepatan angin	33
Gambar 4.5 Output daya <i>Wind Turbine</i>	34
Gambar 4.6 Karakteristik beban microgrid selama 24 jam	35
Gambar 4.7 Output daya dari <i>renewable energy</i>	35
Gambar 4.8 Output daya dari <i>renewable energy</i> dan beban selama 24 jam	37
Gambar 4.9 Profil operasi sistem stand Alone Microgrid pada study case I.....	39
Gambar 4.10 Profil Perubahan SOC 1 pada studi kasus I.....	40
Gambar 4.11 Profil operasi sistem stand Alone Microgrid pada study case II	42
Gambar 4.12 Perubahan SOC 1 pada study case II	43

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Komponen Pembangkit dari Sistem Stand alone Microgrid	26
Tabel 4.1 Beban IEEE 30 Bus 24 jam (modifikasi)	35
Tabel 4.2 Parameter pembangkit <i>renewable energy</i> dan baterai	36
Tabel 4.3 Status ON dan OFF pembangkitan pada study case I	38
Tabel 4.4 Status ON dan OFF pembangkitan pada study case II	41
Tabel 4.5 Daya Pembangkitan, Beban, dan Kerugian 24 Jam pada Studi Kasus I dengan Metode CSO	44
Tabel 4.6 Penyelesaian Multiobjective Menggunakan Metode CSO pada Studi Kasus I	45
Tabel 4.7 Daya Pembangkitan, Beban, dan Kerugian 24 Jam pada Studi Kasus II dengan Metode CSO	46
Tabel 4.8 Penyelesaian Multiobjective Menggunakan Metode CSO pada Studi Kasus II	47
Tabel 4.9 Perbandingan Hasil Simulasi <i>Multiobjective</i> Studi Kasus I dan II metode PSO	48
Tabel 4.10 Daya Pembangkitan, Beban, dan Kerugian 24 Jam pada Studi Kasus I dengan Metode PSO	49
Tabel 4.11 Penyelesaian Multiobjective Menggunakan Metode PSO pada Studi Kasus I	50
Tabel 4.12 Daya Pembangkitan, Beban, dan Kerugian 24 Jam pada Studi Kasus II dengan Metode PSO	51
Tabel 4.13 Penyelesaian Multiobjective Menggunakan Metode PSO pada Studi Kasus II	52
Tabel 4.14 Perbandingan Hasil Simulasi <i>Multiobjective</i> Studi Kasus I dan II metode PSO	53
Tabel 4.15 Perbandingan Hasil Simulasi <i>Multiobjective</i> Studi Kasus I	54
Tabel 4.16 Perbandingan Hasil Simulasi <i>Multiobjective</i> Studi Kasus II	54

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Microgrid merupakan teknologi yang penting untuk menggabungkan sumber energi distribusi, meliputi turbin angin, tenaga surya *photovoltaic* panel, dan perangkat penyimpanan energi atau baterai [Zhixin, 2014]. Microgrid dapat dioperasikan baik dalam *grid-connected*, *islanded*, atau *hybrid* modes. Penggunaan sistem microgrid menjanjikan peningkatan kinerja grid distribusi secara drastis, dalam hal efisiensi dan stabilitas [Emiliano, 2013]. Sumber energi terbarukan yang digunakan dalam sistem memiliki energi keluaran yang berbeda. Sistem jaringan memiliki variabel pembebanan yang bervariasi [Zhixin, 2014].

Baterai pada sistem microgrid digunakan sebagai daya cadangan dan juga untuk meningkatkan efisiensi daya. jika DG tidak dapat bekerja seperti yang diharapkan. *Diesel engine* selain bekerja sebagai DG juga berperan dalam back up pengisian baterai jika *renewable energy* tidak mendapatkan sumber energi secara maksimal. *Energy storage system* merupakan bagian penting dalam sistem smartgrid dan memerlukan perhatian sepenuhnya, untuk memastikan efisiensi, kehandalan, keamanan, dan kestabilan operasi pada keseluruhan sistem [Ye, 2014]. Baterai *energy storage system* memiliki karakteristik umur yang relatif pendek dan biaya baterai yang relatif tinggi. Optimasi baterai dilakukan dengan cara memperhatikan karakteristik umur baterai, karena optimasi secara luas cukup sulit untuk dilakukan.

Energy management system (EMS) akan di aplikasikan sebagai perangkat kontrol optimal energi pada microgrid. Stand alone microgrid pada penulisan ilmiah ini menggunakan IEEE 30 bus *system* yang telah dimodifikasi. Model optimasi yang terdiri dari biaya kerugian karena umur baterai, biaya pemeliharaan, biaya bahan bakar disusun agar mendapatkan parameter operasi optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai optimum pengoperasian pada stand alone microgrid berdasarkan karakteristik dari umur baterai, dan optimasi dilakukan

untuk meminimalkan biaya pembangkitan dan umur baterai dengan metode Cuckoo Search Algorithm (CSA).

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Operasi optimum dilakukan pada jaringan Stand alone microgrid untuk meminimalkan biaya pembangkitan dan rugi umur baterai
2. Penggunaan metode Cuckoo Search Algorithm untuk menyelesaikan sistem optimasi pada jaringan
3. Penggunaan metode Cuckoo Search Algorithm akan dibandingkan dengan metode lainnya

1.3 Tujuan

Tujuan dan Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Mengoptimalkan sistem mendapatkan biaya yang paling optimum agar dapat meminimalkan biaya pembangkitan dan rugi umur baterai
2. Menyelesaikan pengoperasian optimum pada baterai sistem Stand alone microgrid menggunakan metode Cuckoo Search Algorithm
3. Menyelesaikan pengoperasian optimum menggunakan metode *particle swarm optimization* sebagai pembanding

1.4 Batasan Masalah

Permasalahan pada penelitian ini dibatasi oleh hal-hal berikut:

1. Fungsi objektif yang digunakan adalah meminimalkan biaya pembangkitan dan rugi umur baterai
2. Menyelesaikan pengoperasian optimum pada baterai sistem Stand alone microgrid menggunakan metode Cuckoo Search Algorithm
3. Menyelesaikan pengoperasian optimum menggunakan metode *particle swarm optimization* sebagai pembanding

1.5 Kontribusi

Penelitian microgrid ini dilakukan untuk meningkatkan utilitas dari sumber energi terbarukan dan untuk memperpanjang penggunaan umur baterai *energy storage system* pada dua sistem grid yang berbeda di waktu yang sama. Optimisasi dilakukan untuk meminimalkan biaya pembangkitan dan memaksimalkan lama penggunaan dari baterai dengan menggunakan metode (nondominated sorting genetic algorithm).

Kontribusi dalam penelitian ini adalah melakukan optimisasi untuk meminimalkan biaya pembangkitan dan rugi umur baterai pada jaringan stand alone microgrid dengan menggunakan metode Cuckoo Search Algorithm

1.6 Metodologi Penelitian

Pada penulisan ilmiah ini dibuat program untuk memperoleh nilai minimum dari pembangkitan *diesel* generator dengan menggunakan program matlab yang menggunakan Kecerdasan buatan Cuckoo Search Algorithm & PSO sebagai metode pembandingan.

1. Studi Literatur

Literatur yang digunakan mengacu pada *paper, journal, & text book*. Dalam studi literature dipelajari teori-teori pendukung seperti ekonomi dispatch dan State of Charge batterai.

2. Pengumpulan data

Data yang digunakan seperti data angin untuk pembangkitan wind turbin, data intensitas cahaya untuk pv, data beban selama 24 jam, data kapasitas baterai, dan data pembangkitan *diesel*

3. Simulasi dan analisis

Simulasi dilakukan dengan menggunakan sistem distribusi loop. Simulasi terdiri dari 8 buah *distributed energy* yang terdiri dari pv, wind turbin, disel, dan baterai.

4. Penulisan buku

Hasil penelitian yang telah dilakukan dilaporkan dalam bentuk penulisan ilmiah dan *paper*. Laporan berisikan metode, data simulasi dan kesimpulan dari penelitian

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

Kajian pustaka menjelaskan mengenai teori yang menunjang pengerjaan thesis. Pemahaman tentang jaringan microgrid, optimasi, *storage system* hingga algoritma kecerdasan buatan akan menjadi dasar pengembangan metode ini, dalam upaya meminimalkan kerugian daya pada jaringan microgrid dan umur baterai.

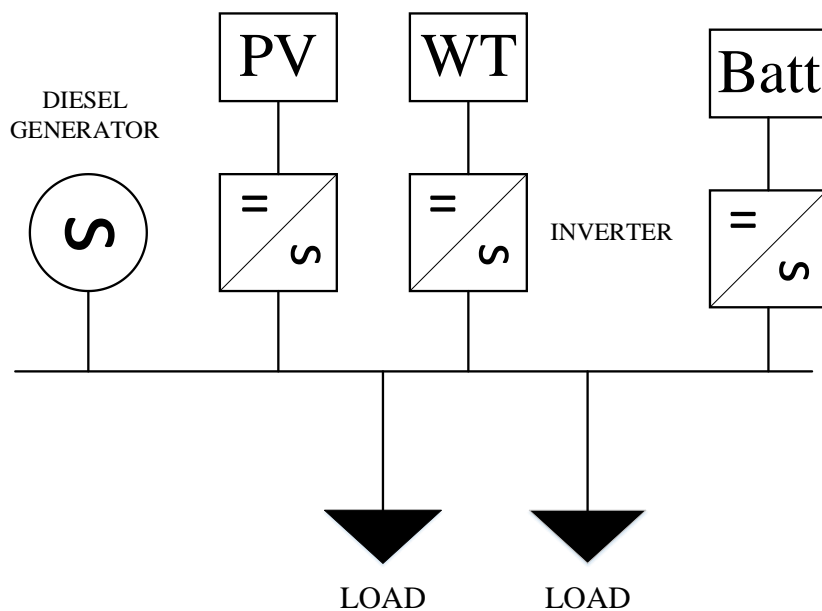
2.1 Stand alone Microgrid

Microgrid adalah sebuah jaringan sistem tenaga listrik dalam skala kecil. Pembangkit rata-rata berkisar 1 kW - 50 kW dengan menggunakan sumber energi yang tersedia seperti mikrohidro, surya, angin, dan lain-lain. Sistem ini terdiri dari beberapa generator distribusi, perangkat penyimpanan energi, dan beban-beban, yang dapat berjalan dengan baik ketika dihubungkan dengan grid, *islanded mode*, ataupun *hybrid mode* (Emiliano, 2013). Sumber energi terbarukan yang digunakan dalam sistem ini memiliki berbagai daya keluaran (Tomaso, 2013). Selain itu, sistem ini juga memiliki nilai energi dan pembebanan yang bervariasi (Zhixin, 2014; Emiliano, 2013). Sistem microgrid memiliki beberapa karakteristik sebagai berikut:

1. Dapat diaplikasikan untuk daerah-daerah khusus yang membutuhkan banyak pasokan listrik
2. Konfigurasi dari sumber daya terdistribusi dan jaringan pembangkit daya skala kecil
3. Pada sisi sistem pembangkitan daya mampu beroperasi secara terpisah dari pre-existing sistem pembangkit daya skala kecil.
4. Dapat dikonfigurasi dengan sistem grid maupun stand alone
5. Penggunaan kecerdasan buatan mampu mengintegrasikan jaringan dari banyaknya sumber daya dan beban yang terdistribusi

Stand alone microgrid paling sering digunakan dan diaplikasikan pada pulau-pulau terpencil yang belum mendapatkan sumber tegangan dari grid. Masalah-masalah yang melibatkan sistem independensi ketika sumber energi terbarukan dalam skala besar diperkenalkan, dan metode untuk menyelesaikan masalah-masalah tersebut (Takehiko, 2004).

Sistem kelistrikan microgrid mempunyai dua metode operasi, yaitu stand alone dan *grid-connected*. Pengoperasian sistem stand alone microgrid merupakan mode operasi dimana sistem tidak terhubung ke main grid (PLN). Sedangkan pengoperasian *grid-connected* adalah mode operasi dimana sistem terhubung dengan main grid. Pada mode operasi stand alone, pembangkit yang ada beroperasi secara mandiri dalam memenuhi kebutuhan sistem. Mode operasi ini menekan pada stabilitas dari sistem terutama frekuensi dan tegangan.



Gambar 2.1 Stand alone microgrid

2.2 Penyimpanan sistem energi baterai pada stand alone microgrid

Sistem penyimpanan energi baterai merupakan salah satu bagian utama dalam sistem pembangkit energi yang letaknya terpencil dan membutuhkan perhatian khusus untuk memastikan efisiensi, keamanan, dan kestabilan operasi pada keseluruhan sistem. Sistem penyimpanan energi baterai ini dapat digunakan untuk meningkatkan manajemen daya pada microgrid yang mencakup sumber energi terbarukan. Sumber energi listrik akan dibangkitkan oleh *Photovoltaic* (PV), *Wind Turbine* (WT), dan *disel engine* digunakan sebagai daya listrik cadangan. Sistem penyimpanan energi baterai dapat digunakan sebagai sarana untuk menyimpan energi listrik yang dibangkitkan oleh sumber energi terbarukan sekaligus mensuplai daya ke beban ketika sumber energi terbarukan tidak menghasilkan energi listrik. Sehingga penggunaan *disel engine* sebagai daya cadangan dapat diminimalkan (Yoash, 2013)

2.3 Pemodelan Optimisasi Pembangkit pada stand alone Microgrid

Perbedaan dalam sistem kelistrikan stand alone microgrid yang menggunakan jaringan kelistrikan konvensional yang paling utama adalah pembangkitan listriknya. Stand alone microgrid adalah teknologi yang memanfaatkan sumber energi terbarukan. Pada penelitian ini, beban stand alone microgrid akan dibangkitkan dengan beberapa pembangkit, seperti *Photovoltaic* (PV), *Wind Turbine* (WT), *Diesel Engine* (DE), dan *Battery* atau *Energy storage*.

Dalam optimisasi sistem tenaga listrik hal yang paling penting untuk dipertimbangkan adalah *economic dispatch* yang memperhitungkan *generation cost*. Sistem kelistrikan microgrid pada simulasi memiliki dua jenis pembangkitan berdasarkan biaya pembangkitannya yakni pembangkitan dengan energi yang dapat diperbarui dan energi yang tidak dapat diperbarui. Menggunakan energi terbarukan akan memiliki keunggulan dalam sisi biaya pembangkitan, akan tetapi lemah di sisi waktu pembangkitan dan daya hasil pembangkitan tidak teratur. Maka perlu media penyimpanan energi berupa baterai yang bertujuan untuk menyimpan energi yang telah dihasilkan. Harga baterai sebagai media penyimpanan pada jaringan stand alone microgrid relatif cukup memberatkan, sehingga perlu adanya pengaturan optimisasi umur baterai, agar investasi dari penggunaan baterai dapat di optimal.

Economic dispatch merupakan pembagian pembagian pembebanan pada tiap pembangkit yang bekerja secara ekonomis pada beban tertentu. Setiap pembangkit atau generator mempunyai karakteristik yang berbeda-beda, sehingga akan berpengaruh pada fungsi kebutuhan serta konsumsi biaya bahan bakar pembangkitnya. Pada sub bab ini akan dibahas pemodelan fungsi-fungsi biaya yang digunakan pada stand alone microgrid yang digunakan (Faisal, 2008).

2.3.1 Model Optimisasi *Photovoltaic* (PV)

Photovoltaic atau PV merupakan pembangkit sumber energi terbarukan yang mampu merubah energi cahaya sinar matahari menjadi energi listrik. Dengan kata lain, PV merupakan teknologi berdasarkan semi-konduktor dalam kondisi padat yang dapat mengkonversi energi cahaya matahari secara langsung menjadi energi listrik, tanpa ada bagian yang berputar ataupun bergerak, serta tidak mengeluarkan gas buangan, PV juga merupakan pembangkit yang sangat menarik dan cocok digunakan untuk pembangkit pada jaringan distribusi perkotaan maupun di pedesaan dikarenakan ukurannya yang relatif kecil dan tidak ada kebisingan saat dioperasikan.

Dari karakteristik PV pada saat beroperasi, dayayang merupakan keluaran tidak selalu sama dengan kondisi standar (1000 W/m², temperatur sel 25°C) pengaruh dari radiasi serta temperatur akan berpengaruh pada karakteristik sebuah PV. Pemodelan akan dilakukan berdasarkan radiasi matahari dan juga temperatur lingkungan pada karakteristik PV. Modul sel surya akan diujikan dalam Standard Test Condition (STC). Daya output modul dapat dihitung menggunakan rumus dari persamaan (2.1), (Primaditya, 2013).

$$P_{pv} = P_{STC} \frac{G_c}{G_{STC}} (1 + k(T_c - T_{STC})) \quad (2.1)$$

Nilai dari T_c (temperatur cell) dari *photovoltaic* perlu diperhitungkan dengan rumus,

$$T_c = T_a + \frac{NOCT - 20^\circ}{800 \text{ W / m}^2} S \quad (2.2)$$

Dimana,

- P_{pv} : daya keluaran dari modul saat radiasi (W)
- P_{STC} : daya maksimum modul saat STC (W)
- G_C : radiasi aktual (W/m²)
- G_{STC} : radiasi saat STC (1000 W/m²)
- k : koefisien temperatur untuk daya modul dalam °C
- T_c : temperatur sel dalam °C
- T_{STC} : referensi temperatur (25°C)

Serta dengan keterangan dari Temperatur sel,

- T_a : Ambient air temperature (°C)
- NOCT : Nominal Operation Cell Temperature 47°C
- S : Cell temperatur pada NOCT °C

Dalam penelitian ini, digunakan modul sel surya SOLAREX MSX-83.

Karakteristik dari modul ini adalah :

- Daya maksimum saat STC (P_{STC}) : 83 W
- Tegangan saat daya maksimum : 17,1 V
- Arus saat daya maksimum : 4,85 A
- Arus *short circuit* saat STC : 5,27 A
- Tegangan open circuit saat STC : 21,2 V
- Koefisien temperatur untuk daya (k) : -0,5% / °C

Fungsi biaya dari *Photovoltaic* dipengaruhi oleh biaya investasi dari pembelian serta instalasi dari peralatan dan juga dipengaruhi biaya operasi dan perawatan dari *photovoltaic* terhadap daya keluaran PV (Norberto, 2010). Fungsi biaya tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (2.3) (Noel, 2011)

$$F(P_s) = aI^p P_s + G^E P_s \quad (2.3)$$

$$a = \frac{r}{[1 - (1 + r)^{-N}]} \quad (2.4)$$

Dimana,

P_s = Tenaga Surya (kW)

a = Koefisien Annuitization (berdimensi)

r = Suku bunga (diambil sebesar 0.09 untuk kasus dasar)

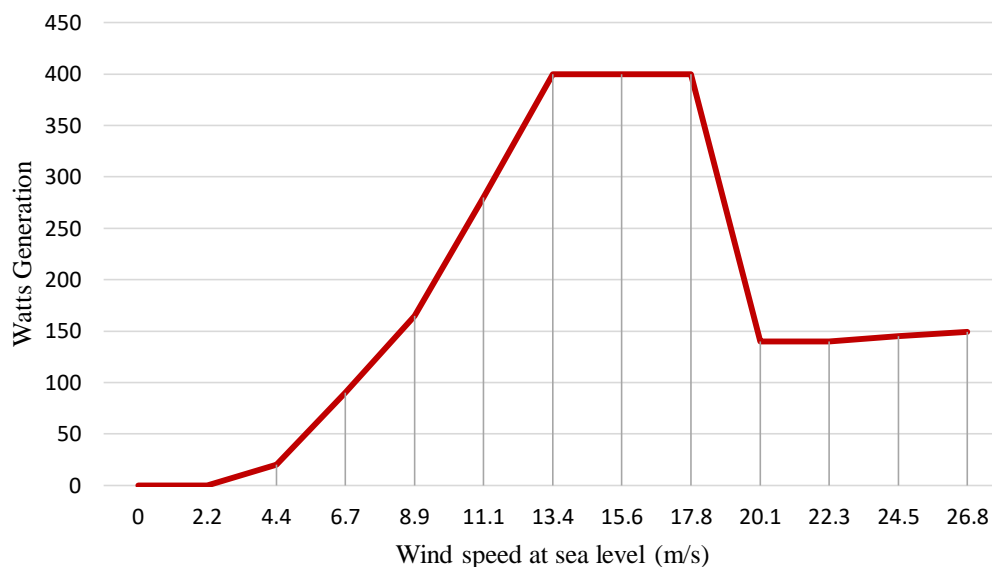
N = Investasi life time (diambil sebesar $N = 20$ tahun)

I^P = Biaya investasi, daya yang terpasang per unit (\$/kW)

G^E = Operation dan Maintenance, energi yang dihasilkan per unit (\$/kW)

2.3.2 Model Optimisasi *Wind Turbine* (WT)

Pembangkit turbin angin merupakan suatu sistem yang dapat mengubah suatu energi angin menjadi energi listrik. Angin yang berhembus kearah *wind turbine* akan menggerakkan kipas yang tersambung dengan generator, sehingga dapat menghasilkan energi listrik. Dalam perancangan model *wind turbine*, dua faktor penting yang perlu diperhatikan, yaitu ketersediaan angin dan daya yang dapat dibangkitkan oleh *wind turbine* itu sendiri. Keluaran daya dari turbin angin merupakan fungsi dari kecepatan angin yang berhembus kearah WT. Untuk memodelkan performa dari turbin angin, kurva daya harus diperoleh dari datasheet. Dalam penelitian ini, digunakan turbin angin AIR403. Kurva daya dari turbin angin ini ditunjukkan oleh Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Kurva daya output terhadap kecepatan angin dari AIR403

Dari model kurva daya tersebut, dapat diperoleh persamaan (2.4).

$$P_{wt}(t) = \begin{cases} 0, & v(t) < v_{ci} \\ \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot \eta_w & v_{ci} \leq v(t) < v_r \\ P_{rated}, & v_r \leq v(t) \leq v_{co} \\ v_{co}, & v(t) > v_{co} \end{cases} \quad (2.5)$$

- P_{rated} : daya keluaran dari turbin angin (W)
 v_{ci} : kecepatan cut-in (m/s)
 v_{co} : kecepatan cut-out (m/s)
 v_r : rating kecepatan angin (m/s)
 η_w : Effisiensi wind turbin
 ρ : Kepadatan udara (kg/m^3)
 N_{wt} : Jumlah dari wind turbin

Perhitungan daya output dengan kecepatan angin *wind turbine* dapat digunakan fungsi (2.5). Untuk memodelkan performansi dari turbin angin, persamaan matematis dari kurva daya harus diperoleh. Berdasarkan kurva di atas, didapatkan parameter sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P_{rated} &= 400 \text{ W} \\
 v_{ci} &= 3 \text{ m/s} \\
 v_{co} &= 18 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

Fungsi biaya dari turbin angin diturunkan seperti pada persamaan (2.6), dengan mempertimbangkan biaya investasi awal dari pembelian peralatan serta biaya operasi dan perawatan dari turbin angin yang digunakan (Noel, 2011). Fungsi biaya tersebut dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$F(P_{wt}) = aI^p P_{wt} + G^E P_{wt} \quad (2.6)$$

$$a = \frac{r}{1 - (1 + r)^{-N}} \quad (2.7)$$

Dimana,

- P_{wt} = Wind Turbin (kW)
- a = Koefisien Annuitization (berdimensi)
- r = Suku bunga (diambil sebesar 0.09 untuk kasus dasar)
- N = Investasi life time (diambil sebesar $N = 20$ tahun)
- I^P = Biaya investasi, daya yang terpasang per unit (\$/kW)
- G^E = Operation dan Maintenance, energi yang dihasilkan per unit (\$/kW)

2.3.3 Model Optimisasi Baterai

Banyak baterai yang digabungkan menjadi satu atau atau juga disebut dengan *Battery Bank* yang merupakan perangkat elektrokimia yang menyimpan energi dari sumber AC atau DC lainnya untuk dipergunakan lagi. Daya dari *battery* dibutuhkan ketika microsource tidak cukup untuk supply beban, atau ketika kedua microsource dan grid utama tidak dapat memenuhi permintaan total beban. Di lain pihak, energi disimpan ketika suplai dari baterai melebihi total beban (Tianpei, 2014).

Strategi yang dilakukan untuk melakukan penghematan adalah dengan cara mengatur penggunaan baterai dan mengurangi penggunaan disel, hal tersebut juga akan berimbas pada kerja sistem kelistrikan secara keseluruhan. Pada setiap waktu state of charge (SOC) dari baterai harus memenuhi persyaratan yang di tentukan :

$$SOC_{min} \leq SOC \leq SOC_{max} \quad (2.8)$$

$$P_{cha_max} \leq P_{bat} \leq P_{discha_max} \quad (2.9)$$

Besar nilai SOC pada waktu tertentu dapat ditentukan oleh SOC awal dan juga daya dari baterai selama periode tersebut (Faisal, 2008). Secara matematis ditunjukkan oleh persamaan (2.10).

$$SOC_{(t+\Delta t)} = SOC_t - P_{bat,t} \times \frac{\Delta t}{C_{bat}} \quad (2.10)$$

Fungsi biaya baterai dipengaruhi oleh biaya investasi dari pembelian serta instalasi dari peralatan serta dipengaruhi dari biaya operasi dserta perawatan baterai terhadap daya output baterai (Noel, 2011). Fungsi biaya dihitung dengan menggunakan persamaan (2.11)

$$F(P_{bat}) = aI^P P_{bat} + G^E P_{bat} \quad (2.11)$$

$$a = \frac{r}{\left[1 - (1 + r)^{-N}\right]} \quad (2.12)$$

Dimana,

- P_{bat} = Tenaga Surya (kW)
- a = Koefisien Annuitization (berdimensi)
- r = Suku bunga (diambil sebesar 0.09 untuk kasus dasar)
- N = Investasi life time (diambil sebesar $N = 20$ tahun)
- I^P = Biaya investasi, daya yang terpasang per unit (\$/kW)
- G^E = Operation dan Maintenance, energi yang dihasilkan per unit (\$/kW)

Life loss cost dari *battery* merupakan biaya kerugian akibat berkurangnya umur baterai. Pada umumnya parameter yang digunakan untuk mengukur level dari kerugian umur baterai menggunakan akumulasi energi yang masuk (charge) atau keluar (discharge) baterai yang digunakan (Bo, 2013). Hal ini dapat diformulasikan dalam persamaan (2.13).

$$L_{loss} = \frac{A_c}{A_{total}} \quad (2.13)$$

Baterai memiliki algoritma estimasi *lifetime*, yang diterapkan kedalam sistem model *microgeneration* yang akan memprediksi baterai *lifetime*. Algoritma ini digunakan untuk mengukur dari efek operasi jangka panjang pada kinerja baterai, dan juga menunjukkan batas waktu untuk operasi yang efektif, singkatnya algoritma ini memposisikan batas *lifetime* pada batas efektif *ampere hour* dari muatan yang dikirimkan dari baterai. Algoritma ini dapat digunakan dengan standar

manufakturs data pada estimasi *lifetime* baterai yang mana telah di pertimbangkan berapa *ampere-hour* baterai akan mampu mengikuti batasan SOC. Tinjauan data untuk deep-cycle lead-acid baterai, contohnya, menunjukan sebuah aproksimasi bahwa ukuran baterai dari Q *ampere-hours* akan mengantarkan (390 Q) *ampere-hours* selama masa hidupnya. Namun ini hanya akan berlaku pada baterai tertentu yang akan di pertimbangkan, sesuai dengan *lifetime* baterai jika ia memiliki 195 Q maka dia hanya memiliki nilai umur setengahnya.

A_c menunjukkan nilai dari SOC saat beroperasi dan juga energi aktual yang dapat dilewati oleh baterai. Hal tersebut dapat diformulasikan dalam persamaan (2.14).

$$A_c = \lambda_{soc} \times A_c' \quad (2.14)$$

Nilai λ_{soc} bisa didapatkan dari persamaan (2.15).

$$\lambda_{soc} = k \times SOC + d \quad (2.15)$$

Dari persamaan (2.15), nilai k dan d didapat dari mencari gradien persamaan linier dari kurva serta hubungan dari faktor pemberat dan juga nilai SOC dari baterai lead acid (Bo, 2013). Dari data refrensi pada jurnal digunakan nilai k = -1,5 dan d = 2,07 .

Biaya kerugian akibat umur baterai dapat dinyatakan dengan persamaan (2.15), dimana diketahui $C_{init-bat}$ merupakan biaya investasi awal baterai, C_{bl} digunakan untuk mengukur biaya hilangnya kehidupan baterai dalam durasi tertentu.

$$C_{bl} = L_{loss} * C_{init-bat} \quad (2.16)$$

2.3.4 Model Optimisasi *Diesel engine*

Diesel engine adalah suatu pembangkit yang dikembangkan lebih dari 100 tahun yang lalu. Pembangkit yang menggunakan bahan bakar fosil atau dapat diartikan bukan termasuk pada pembangkit energi terbarukan atau bersahabat. Sehingga pada jaring dalam microgrid *diesel engine* akan dinyalakan sebagai tenaga yang paling akhir pada saat tidak ada *renewable energy* dan atau pembangkitan dari *renewable* kurang untuk menanggung beban. Meskipun begitu pembangkit ini banyak digunakan karena memiliki instalasi yang mudah serta keandalan yang cukup tinggi dalam membackup tegangan.

Diesel engine merupakan jenis yang paling sering digunakan dalam teknologi microgrid saat ini (Bo, 2013). Biaya operasi dari sistem dapat dinyatakan sebagai fungsi dari daya keluaran dan dapat dimodelkan dari nilai polinomial kuadrat seperti yang ditunjukkan oleh persamaan (2.17).

$$F(P_{die}) = aP_{die}^2 + bP_{die} + c \quad (2.17)$$

Fungsi biaya generator diperoleh dari beberapa titik-titik data yang diambil selama pengujian “heat-run” atau ketika input dan output diukur sebagai unit yang secara perlahan melalui zona operasinya. Besarnya nilai a, b, dan c ditentukan oleh pabrikan yang mana nilai-nilainya dapat diketahui dari datasheet *diesel engine* tersebut (Allen, 1996).

2.3.5 *Constraints*

Terdapat *constraints* yang perlu diperhatikan dalam optimisasi economic dispatch dan *cost battery* yaitu keseimbangan dari daya sebagai essential constrain dan kapasitas pembangkit. Keseimbangan daya sebagai essential constrain dimasukkan dalam persamaan (2.18).

$$P_{gen} = P_L + P_{Loss} \quad (2.18)$$

Jika constrain utama ini tidak dipenuhi dalam sistem, maka sistem kelistrikan ini akan berubah frekuensinya dan mampu merusak peralatan listrik. Pada penelitian ini P_{gen} dibangkitkan oleh pembangkit *renewable energy*, baterai, dan *diesel engine*. *Renewable energy* yang dipergunakan adalah PV dan WT. Dapat dituliskan berdasarkan persamaan (2.19) dan (2.20).

$$P_{ren} = P_{pv} + P_{wt} \quad (2.19)$$

$$P_{gen} = P_{ren} + P_{bat} + P_{die} \quad (2.20)$$

Selain keseimbangan daya, kapasitas pembangkit juga perlu diperhatikan. Batasan kapasitas pembangkit yang digunakan dirumuskan dalam persamaan sebagai berikut (2.21).

$$P_{i-min} \leq P_i \leq P_{i-max} \quad (2.21)$$

Terdapat empat jenis pembangkit yang tersambung dalam sistem microgrid pada sistem yang dipergunakan yaitu solar panel, turbin angin, *diesel engine*, dan baterai. Pembangkit tersebut mempunyai kapasitas daya yang berbeda-beda (Bo, 2013). Fungsi pertidaksamaan dari keempat pembangkit itu ditunjukkan dalam persamaan (2.22 – 2.25).

$$P_{pv-min} \leq P_{pv} \leq P_{pv-max} \quad (2.22)$$

$$P_{wt-min} \leq P_{wt} \leq P_{wt-max} \quad (2.23)$$

$$P_{bat-min} \leq P_{bat} \leq P_{bat-max} \quad (2.24)$$

$$P_{die-min} \leq P_{die} \leq P_{die-max} \quad (2.25)$$

2.4 Cuckoo Search Optimization (CSO)

Cuckoo Search (CS) adalah sebuah algoritma optimasi yang terinspirasi dari jenis parasit spesies unggas yaitu burung Cuckoo, cara mereka melakukan parasit adalah dengan cara meletakkan telur mereka disarang burung spesies lain. CS diusulkan oleh Yang dan Deb pada tahun 2009, dan telah diterapkan kedalam pengoptimalan serta menjanjikan efisiensi yang baik. CS memiliki kualitas pemecahan solusi lebih baik dari algoritma yang telah ada. Jika burung spesies lain, pemilik sarang tersebut menemukan telur asing ada disarangnya maka ia akan meninggalkan sarangnya dan membuat sarang baru lainnya atau dapat juga dengan membuang atau melempar telur tersebut hingga jatuh atau hancur. Sebuah telur cuckoo merupakan solusi baru sementara telur burung milik penghuni sarang sebenarnya merupakan solusi. Hal itu bertujuan untuk mengganti solusi terburuk dalam sarang dengan yang baru dan mungkin sisipkan solusi yang lebih baik. Diasumsikan ada sebaran titik 2 dimensi antara -2 sampai dengan 2, fungsi yang diketahui adalah fungsi Himmelblau, yang merupakan salah satu fungsi yang dapat digunakan untuk mengoptimasi suatu permasalahan.

Dalam penelitian ini, pendekatan yang paling sederhana yang digunakan adalah dimana setiap sarang hanya memiliki satu telur, meskipun algoritma dapat diperluas untuk menangani beberapa kasus telur. Untuk mempermudah dalam menggambarkan CS, tiga aturan ideal yang akan dijelaskan sebagai berikut :

1. Pada suatu waktu, setiap cuckoo hanya meletakkan satu telur, dan meninggalkan di sarang decan cara pemilihan secara acak;
2. Algoritma akan terbawa ke sarang terbaik dengan *high quality egg* (solusi) untuk menjadi generasi berikutnya;
3. Burung pemilik sarang dapat menemukan telur asing dengan probabilitas $p_a = [0,1]$ sementara jumlah sarang tuan rumah yang tersedia adalah tetap. Dalam hal ini, burung tuan dapat meninggalkan saranya dan membangun sarang yang baru di tempat lainnya atau hanya dengan membuang telur tersebut.

Ketika menghasilkan solusi baru $x(t+1)$ untuk cuckoo I, sebuah Lévy Flight dilakukan

$$x_i^{(t+1)} = x_i^{(t)} + a \oplus \text{Levy}(\lambda) \quad (2.26)$$

Dimana $a > 0$ adalah ukuran langkah yang harus dikaitkan dengan besarnya kepentingan masalah; a dapat diatur untuk nilai 1 di sebagian besar situasi, yang pada dasarnya persamaan ini merupakan stokastik untuk random walk, yang merupakan rantai Markov yang status lokasi berikutnya atau lokasinya hanya bergantung pada status atau lokasi, probabilitas transisi, yang merupakan istilah pertama dan kedua masing-masing. Produk \oplus merupakan entry wise multiplication, yang mirip dengan PSO. Dalam hal mengeksplorasi ruang pencarian, random walk melalui Lévy flight lebih efisien sebagai panjang langkah yang jauh lebih lama dalam jangka panjang. Panjang langkah acak dari Lévy flight, fundamental yang memberikan random walk, berasal dari Lévy distribution dengan infinite variance and infinite mean.

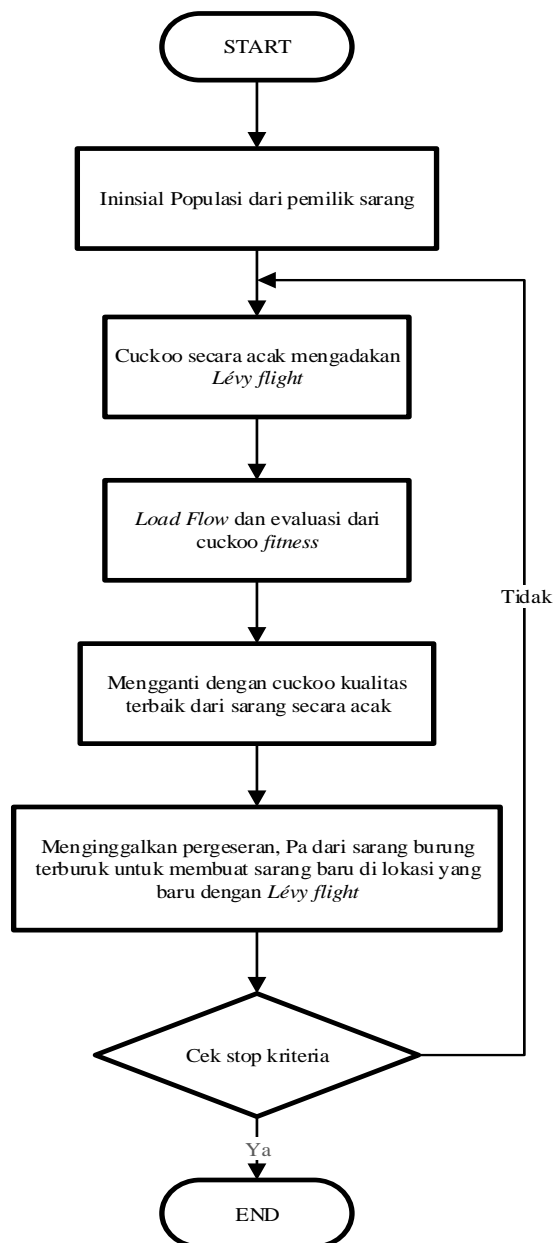
$$\text{Levy} \sim u = t^{-\lambda} \quad (2.27)$$

1. Inisialisasi populasi, CS harus disediakan populasi dengan nomor n dan inisial range dari sarang host di awal.
2. Generasi Cuckoo, sebuah cuckoo secara acak dihasilkan secara acak dengan Lévy flight. Cuckoo dievaluasi dengan menggunakan aliran beban fungsi onjectif untuk menentukan kualitas solusi.
3. Penggantian, sarang dipilih diantara nilai n , secara acak. Jika kualitas solusi baru dalam sarang lebih baik daripada solusi lama, maka akan digantikan dengan solusi baru (cuckoo)
4. Generasi sarang baru, Sarang terburuk ditinggalkan berdasarkan probabilitas (P_a) dan dibangun sarang yang baru
5. Pemutusan, dalam penelitian ini, kriteria berhenti diatur ke nilai toleransi dan maksimal generasi sebesar 100 iterasi. Setelah

didapatkan kriteria maka cuckoo search akan berhenti, dan hasil CS akan diperoleh.

Dengan parameter :

Jumlah Inisial Cukoo	= 5	Kemungkinan telur ditemukan	= 2
Jumlah sarang (Jumlah solusi)	= 5	Toleransi	= $1 \cdot 10^5$
Jumlah Iterasi	= 100		



Gambar 2.3. Diagram alir *Cuckoo Search Optimization*

2.5 Particle Swarm Optimization (PSO)

PSO merupakan teknik penentuan populasi berdasarkan optimisasi stokastik yang dibangun oleh Dr. Eberhart dan Dr. Kennedy pada tahun 1995. Teknik penentuan ini terinspirasi dari perilaku sosial sekawanan burung atau sekawan hewan yang sedang mencari makanan. PSO memiliki beberapa kesamaan dengan teknik komputasi evolusioner seperti pada Genetic Algorithm (GA). Inisialisasi sistem didapatkan dari populasi acak dan nilai optimal didapatkan dari generasi yang diperbarui. Namun, PSO sedikit berbeda dengan GA, PSO tidak memiliki operator evolusi seperti crossover dan mutasi. Pada PSO, potensi solusi disebut partikel, terbang melalui ruang masalah dengan mengikuti partikel yang optimum (Rahman, 2009).

Partikel menunjukkan seekor burung atau sekawanan burung. Masing-masing partikel melacak di masing-masing koordinat di ruang permasalahan yang berhubungan dengan solusi terbaik (fitness). Jika satu partikel menemukan jalan yang terbaik untuk menemukan sumber makanan maka sisa kelompok yang lain akan mengikuti jalan tersebut. Nilai fitness yang telah diperoleh disebut pbest. Nilai pbest lain yang didapatkan dari PSO optimizer adalah nilai terbaik yang didapatkan oleh partikel di daerah tetangga partikel tersebut. Lokasi ini disebut lbest. Ketika sebuah partikel menganggap bahwa semua populasi sebagai tetangga topologi, sehingga nilai terbaik dijadikan sebagai global best dan disebut gbest.

Konsep dari PSO terdiri dari waktu langkah masing-masing, perubahan kecepatan dari masing-masing partikel terhadap pbest dan lokasi lbest. Setiap partikel bergerak dalam ruang tertentu dan akan mengingat jalur dan posisi terbaik sumber makanan yang ditemukan. Setiap partikel ini akan menyampaikan informasi tentang sumber makanan tersebut kepada partikel yang lain. Partikel lain akan menyesuaikan posisi dan kecepatan masing-masing untuk menemukan sumber makanan tersebut. Setiap kawanan memiliki aturan, antara lain sebagai berikut :

- Sebuah kawanan atau seekor burung tidak berada terlalu dekat dengan kawanan yang lain
- Sebuah kawanan atau seekor burung mengarahkan arah terbangnya ke arah keseluruhan burung

- Burung tersebut akan memposisikan diri dengan posisi rata-rata burung lainnya dan menjaga jarak antar burung dalam kawanan tidak terlalu jauh

PSO digunakan sebagai pembanding karena dari penelitian yang sudah dilakukan PSO meru, Sehingga PSO dikembangkan dengan urutan berdasarkan aturan diatas :

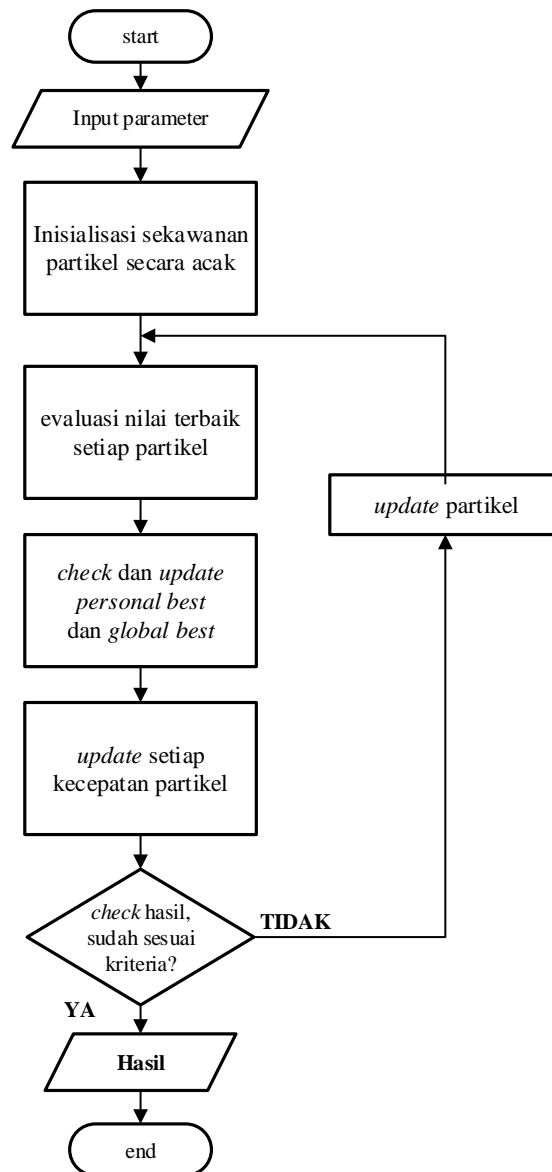
1. Jika seekor burung atau partikel mendekati target atau sumber makanan, maka partikel tersebut akan segera mengirim informasi kepada partikel lainnya dalam kawanan atau space range tertentu
2. Partikel lain akan mengikuti arah dari informasi menuju makanan tetapi tidak secara langsung
3. Ada unsur yang tergantung pada pemikiran dari setiap partikel yaitu ingatan tentang jalur yang sudah dilewati pada waktu sebelumnya.

Selanjutnya langkah-langkah diatas akan disimulasikan dalam ruang dan dimensi tertentu dengan jumlah iterasi tertentu. Pada setiap iterasi, posisi partikel akan semakin bergerak kearah sumber makanan yang dituju. Ketika nilai iterasi mencapai maksimum maka iterasi akan berhenti.

Algoritma dari PSO ini yaitu melakukan pencarian secara paralel menggunakan sekelompok individual yang hampir sama untuk teknik optimisasi berbasis *artificial intelligent*. Masing-masing individu bertanggung jawab untuk mendapatkan calon solusi untuk menyelesaikan permasalahan yang ada. Individual-individual dalam suatu kawanan didekati untuk mendapatkan titik optimum dengan mempertimbangkan kecepatan, percobaan sebelumnya, dan percobaan yang dilakukan oleh tetangganya. Dalam sebuah ruang pencarian fisik dengan n-dimensi, posisi dan kecepatan individu i digambarkan sebagai vektor kecepatan. Dengan menggunakan informasi tersebut, individu i dan update kecepatannya akan dapat dimodifikasi dengan menggunakan persamaan (2.28) dan (2.29). Algoritma dari PSO ini ditunjukkan melalui diagram alir pada Gambar 2.4 (Yamille, 2008).

$$v_i^{k+1} = v_i^k + \alpha_i (x_i^{lbest} - x_i^k) + \beta_i (x_i^{gbest} - x_i^k) \quad (2.28)$$

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1} \quad (2.29)$$



Gambar 2.4. Diagram alir *Particle Swarm Optimization*

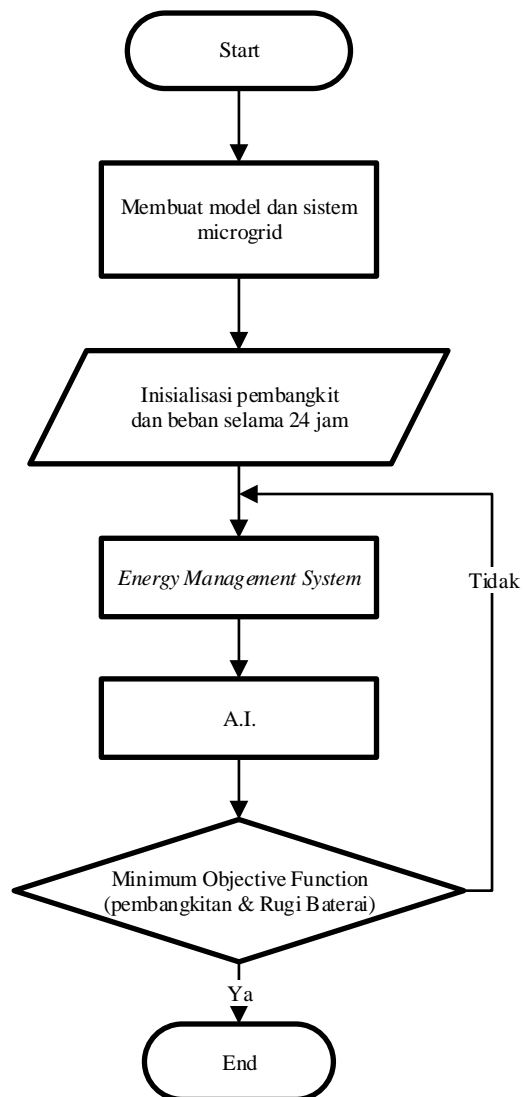
Dengan parameter yang digunakan :

Jumlah Partikel	= 30	C2(β) (parameter social)	= 2
Maksimum Iterasi	= 100	W (beban inersia)	= 0.6
C1(α) (parameter kognitif)	= 2		

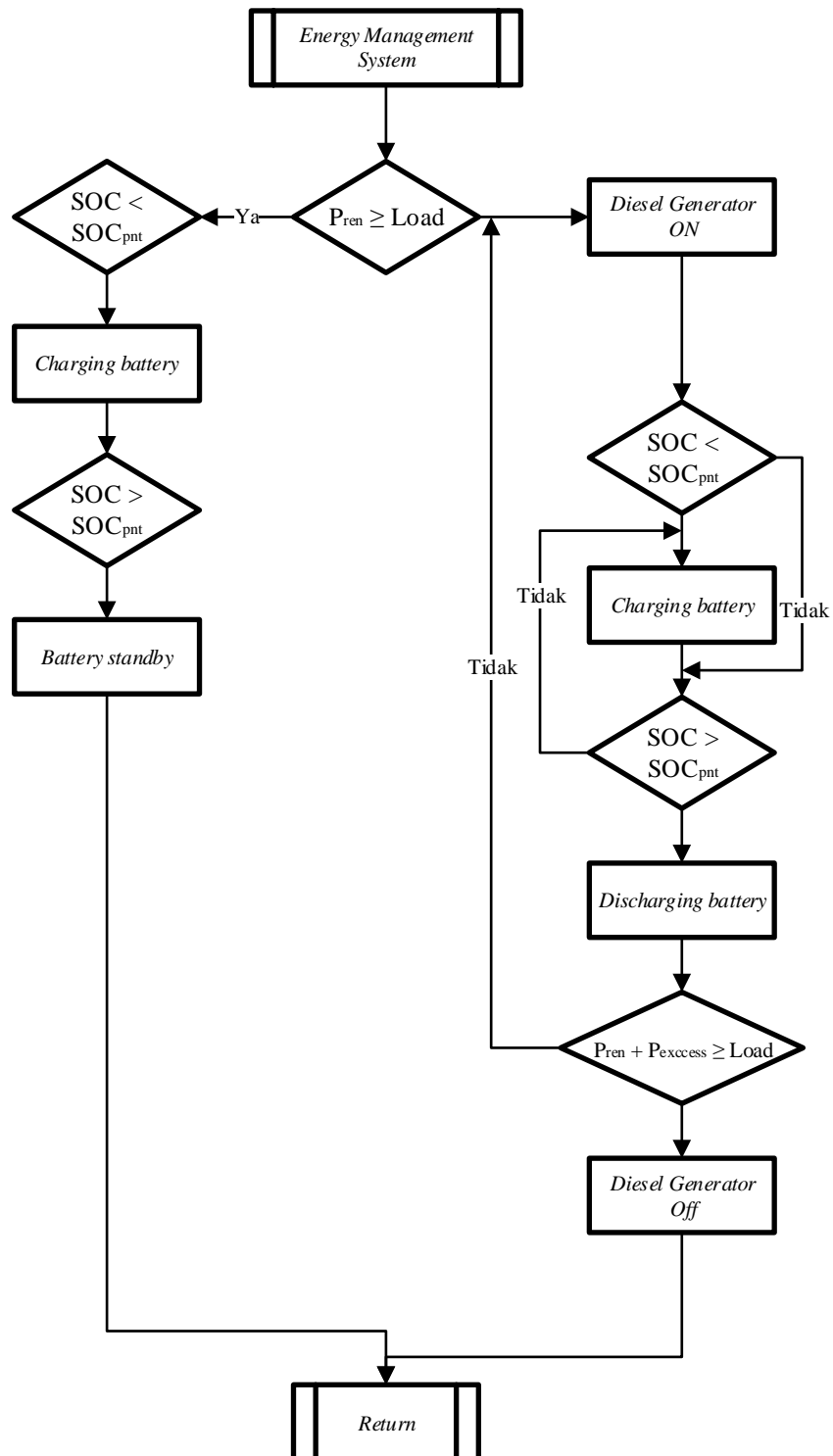
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Langkah – langkah penelitian dibuat dalam diagram alir seperti Gambar diagram alir 3.1. Berdasarkan Gambar 3.1 diketahui bahwa penelitian dimulai dengan melakukan pemodelan sistem distribusi sampai dengan menampilkan hasil simulasi. Gambar 3.1 menunjukkan langkah-langkah penelitian yang jelas dan terperinci.



Gambar 3.1 Diagram alir penelitian



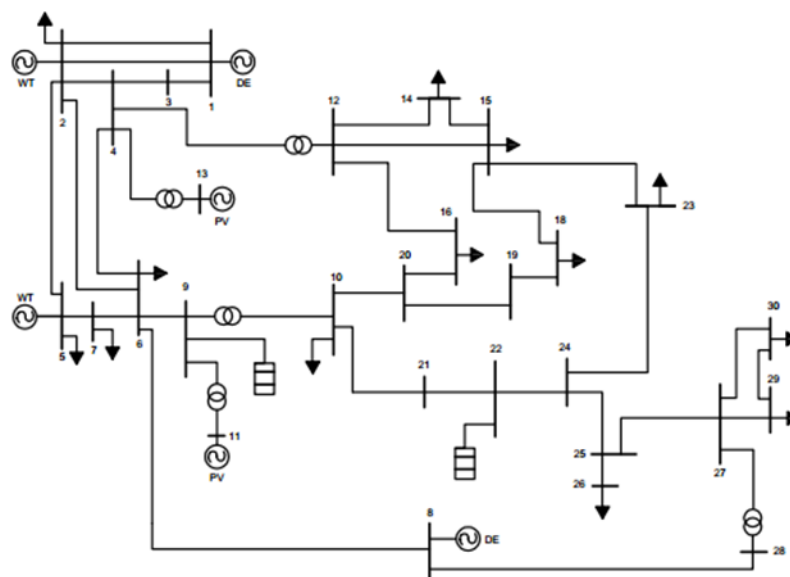
Gambar 3.2 Diagram alir microgrid Tiap jam

Penelitian ini menggunakan sistem pengujian IEEE 30 bus, tahapan setelah mendapatkan pemodelan sistem microgrid adalah memodifikasinya. Sistem microgrid 30 bus tidak terhubung dengan sistem grid utility, suplai tegangan menggunakan generator distribusi seperti *Photovoltaic* (PV), *Wind Turbine* (WT), *Diesel Engine* (DG) dan juga *battery*.

Tahapan setelah merekonfigurasi jaringan 30 bus adalah melakukan inisialisasi data beban dan daya setiap 1 jamnya, selama 24 jam. Data tersebut kemudian diolah pada *energy management system* yang di optimalkan dengan bantuan metode *Cuckoo Search Optimization* (CSO), untuk mencari minimum objective functionnya (biaya pembangkitan dan rugi umur baterai) yang diharapkan dapat mempertimbangkan karakteristik umur baterai.

3.1 Data Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sistem distribusi IEEE 30 bus dan sistem akan ditambahkan dengan beberapa Distributed Generator, baik renewable *energy* maupun fosil *energy*. Gambar 3.3 menunjukkan sistem distribusi IEEE 30 bus.



Gambar 3.3 Sistem distribusi IEEE 30 bus

Tabel 3.1 Komponen Pembangkit dari Sistem Stand alone Microgrid

Jenis Pembangkit	Kapasitas Daya Pembangkit	Kuantitas Jumlah Pembangkit	Total Kapasitas Pembangkit (kW)
<i>Diesel Engine</i>	175.000 Watt	2	350
<i>Photovoltaic</i>	83 Watt	1000	83
<i>Wind Turbine</i>	400 Watt	500	200
<i>Battery</i>	2V/1000 Ah	1000	2 kWh

Pada bagian ini diuraikan desain, metode, atau pendekatan yang digunakan dalam menjawab permasalahan penelitian untuk mencapai tujuan penelitian, serta tahapan penelitian secara rinci, singkat dan jelas. Uraian dapat meliputi parameter penelitian, model yang digunakan, rancangan penelitian, teknik atau metode perolehan dan analisis data.

3.2 Metode Penyelesaian *Multiobjective* Menggunakan Metode *Weight Sum*

Metode weight sum merupakan metode yang menggabungkan dua atau lebih objective function menjadi satu kesatuan. Metode ini dilakukan dengan cara menambahkan koefisien pembobot pada masing-masing objective function. Nilai koefisien pembobot yang digunakan merupakan nilai yang ditentukan dari proporsi relatif dari masing-masing objective function (Yun, 2013). Persamaan yang digunakan dalam penelitian ini untuk menyelesaikan multiobjective function dirumuskan dalam persamaan (3.1).

$$\min \{F(P)\} = \min \left\{ \sum_{n=1}^k w_n s_n f(P)_n \right\} \quad (3.1)$$

Persamaan (3.1) dapat terpenuhi bila memenuhi syarat sebagai berikut.

$$\sum_{n=1}^k w_n = 1 \quad (3.2)$$

3.3 Strategi Operasi Optimum untuk meminimalkan biaya pembangkitan dan kerugian umur baterai

Implementasi CSO dan PSO. Pada penyelesaian operasi optimum microgrid ditunjukkan oleh Gambar 3.1. Pada penyelesaian operasi optimum ini, microgrid disimulasikan seolah-olah dijalankan selama 24 jam. Dengan simulasi ini, dilakukan untuk mengetahui SOC baterai tiap jam. Selain itu. Dengan kondisi pembangkit dan beban yang berbeda-beda tiap jam, maka biaya pada masing-masing pembangkitan juga akan berbeda. Generator *diesel* dan baterai berfungsi sebagai cadangan apabila daya pada pembangkit energi terbarukan tidak mencukupi untuk mensupply beban. Gambar 3.2 menunjukkan strategi penyelesaian microgrid dengan menggunakan baterai. Dari Gambar 3.2 tersebut, dapat diketahui bahwa langkah awal yang pertama kali dilakukan adalah menentukan inisialisasi parameter-parameter pada sistem, seperti data beban, rating daya pembangkit, dan SOC dari baterai.

Pembacaan data irradiasi dan temperature pada daerah sekitar panel PV juga dilakukan untuk mendapatkan daya keluaran dari PV, dengan menggunakan persamaan 2.1, Untuk daya keluaran dari turbin angin diperoleh dengan mempertimbangkan data dari kecepatan angin dengan persamaan 2.4.

Selanjutnya kedua daya keluaran tersebut ditambahkan sehingga menjadi daya dari energi terbarukan. Jika daya tersebut kurang dari beban pada jam tersebut maka seperti diagram alur, ditanyakan lagi apakah SOC baterai kurang dari minimum, jika iya maka akan ditanyakan lagi apakah jaringan grid terjadi blackout, jika tidak maka sistem grid akan mensuplai beban dan apabila masih ada sisa pembangkitan akan dibuat untuk charging baterai. Pengisian baterai dilakukan hingga mencapai SOCmax. Apabila pengisian baterai telah berhenti maka jika menggunakan Grid maka sistem akan terputus dan jika menggunakan *diesel* pembangkit tersebut akan OFF. Besar daya pengisian baterai sebesar 10% dari kapasitas baterai, akan tetapi bila SOC baterai lebih dari SOCpnt maka baterai akan digunakan sebagai sumber untuk mensuplai daya ke beban dengan kapasitas maksimum sebesar P_{excess} .

Pengisian baterai dilakukan pula pada saat daya yang dihasilkan oleh energi terbarukan lebih besar dari beban dan saat SOC baterai kurang dari SOC_{pnt}. Pengisian baterai akan dilakukan hingga baterai mencapai full capacity atau kondisi yang maksimum. Apabila daya yang dihasilkan oleh *renewable energy* melimpah dan SOC baterai lebih dari SOC_{pnt}, maka baterai akan diposisikan dalam keadaan standby (Bo, 2013)

3.4 Penyelesaian Multiobjective Menggunakan Metode CSO

Metode metaheurostik menggunakan CSO (*Cuckoo Search Optimization*), algoritma ini meniru tingkah laku dari spesies cuckoo yaitu sebuah burung parasit yang meletakkan telurnya di sarang burung lain. Pada penyelesaian multiobjective ini, daya pembangkitan masing masing digambarkan seperti burung. Sedangkan nilai fitness dari multiobjective digambarkan sebagai telur burung yang berhasil menjadi parasite di sarang burung lainnya.

1. Daya acak dari pembangkitan dengan tetap memperhatikan constraints yang ada. Inisialisasi populasi, CS harus disediakan populasi dengan nomor n dan inisial range dari sarang host di awal. Bila melanggar constraints, maka daya pembangkitan yang lain akan di kurang atau di tambah sehingga daya pada slack bus tidak melanggar constraints.
2. Perhitungan kecepatan, biaya pembangkitan, kerugian umur baterai, *life loss cost*, dan nilai fitness dari multiobjective. Generasi Cuckoo, sebuah cuckoo secara acak dihasilkan secara acak dengan *Lévy flight*. Cuckoo dievaluasi dengan menggunakan aliran beban fungsi onjectif untuk menentukan kualitas solusi.
3. Penggantian, sarang dipilih diantara nilai n , secara acak. Jika kualitas solusi baru dalam sarang lebih baik daripada solusi lama, maka akan digantikan dengan solusi baru (cuckoo).
4. Update nilai fitness, telur cuckoo yang memiliki nilai terbaik dan posisi terbaik.
5. Ulangi langkah no. 3 dan 5 hingga mencapai iterasi maksimum.

3.5 Penyelesaian Multiobjective Menggunakan Metode PSO

Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) didasarkan seperti sekawanan lebah atau burung yang perilaku sosialnya terdiri dari tindakan individu dan pengaruh dari individu-individu lain dalam suatu kelompok. Pada penyelesaian multiobjective ini, daya pembangkitan masing-masing pembangkit digambarkan seperti seekor burung atau partikel. Sedangkan nilai fitness dari multiobjective digambarkan sebagai posisi dengan jumlah makanan yang paling banyak.

1. Daya yang acak dari pembangkitan dengan tetap memperhatikan constraints yang ada. Daya yang diperoleh dari proses random ini kemudian dijadikan inisialisasi daya pembangkitan pada proses power flow. Setelah power flow running, daya pembangkitan pada slack bus perlu di tinjau kembali, apakah masih tetap dalam constraints yang di tentukan atau tidak. Bila melanggar constraints, maka daya pembangkitan yang lain akan di kurangi atau di tambah hingga daya pada slack bus tidak lagi melanggar constraints.
2. Perhitungan kecepatan, biaya pembangkitan, kerugian umur baterai, *life loss cost*, dan nilai *fitness* dari multiobjective. Hasil yang di peroleh dari proses ini selanjutnya digunakan untuk menentukan partikel terbaik untuk kombinasi daya pembangkitan terbaik dan *global best* berdasarkan nilai *fitness* yang paling rendah atau terbaik.
3. Update kecepatan dan posisi partikel menuju nilai partikel terbaik. Setiap update kecepatan dan partikel dilakukan running loadflow dan pengecekan *slack bus* agar tidak melanggar constraints.
4. Update nilai fitness, partikel terbaik, dan global terbaik.
5. Mengulai langkah Update seperti no.3 dan 4 hingga mendapatkan nilai iterasi maksimum.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

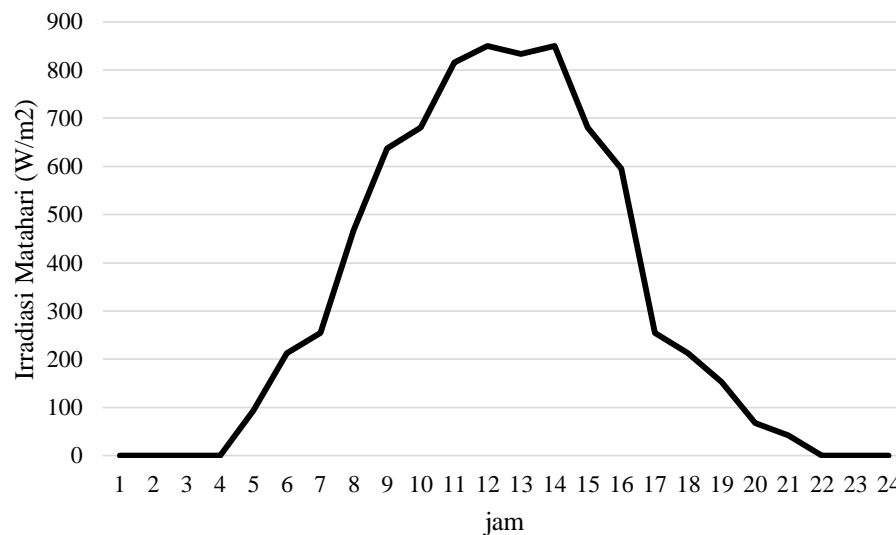
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Pembangkit

Microgrid merupakan suatu jaringan yang memerlukan pembangkit dari energi terbarukan dan suatu komponen utama yang perlu dimaksimalkan kinerjanya. Penelitian ini menggunakan 4 macam jenis pembangkit dengan jumlah yang telah ditetapkan pada tabel 3.1. Tiap masing masing pembangkit memiliki jenis karakteristik yang berbeda dan berpengaruh pada daya keluaranya.

4.1.1 Photovoltaic

Daya yang dikeluarkan oleh masing-masing unit dari *photovoltaic* (PV) dipengaruhi oleh energi radiasi dan suhu dari matahari, data karakteristik radiasi matahari dan suhu lingkungan selama 24 jam digunakan dalam penelitian ini.

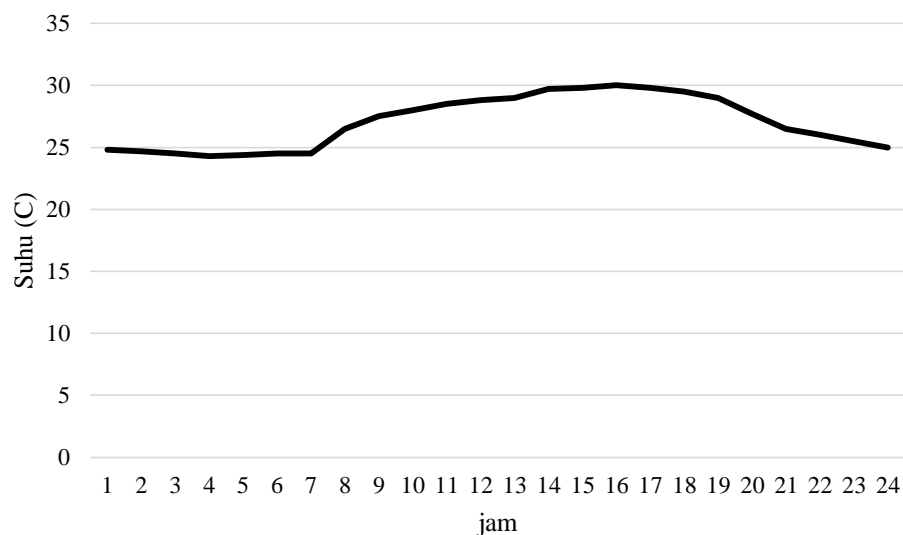


Gambar 4.1 Karakteristik radiasi sinar matahari

Gambar 4.1 menunjukkan karakteristik dari radiasi sinar matahari selama 24 jam yang mempengaruhi daya keluaran dari *photovoltaic*. Pukul 05.00 WIB radiasi sinar matahari mulai didapatkan yang terus naik hingga titik puncaknya pada

pukul 12.00 WIB, pada jam tersebut juga didapatkan pembangkitan *photovoltaic* yang mampu membangkitkan daya terbesar.

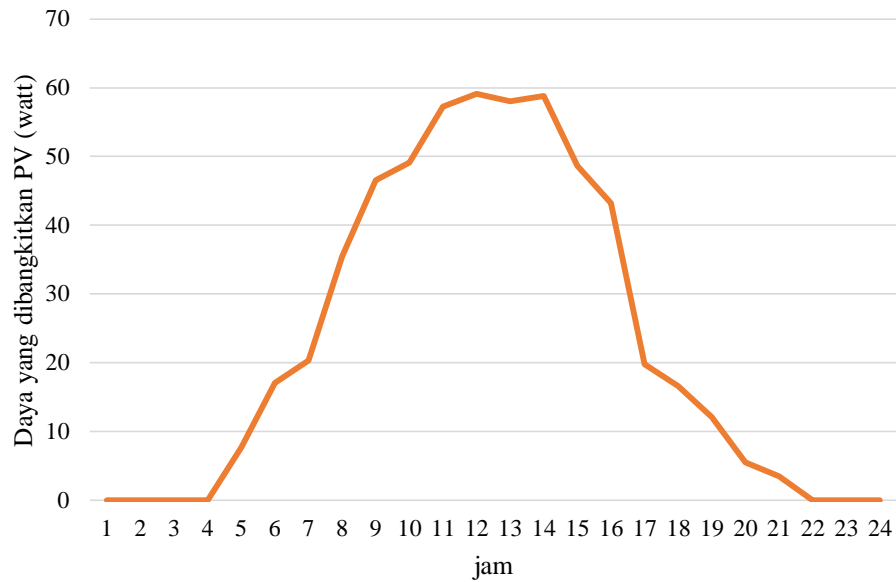
Setelah puncak pembangkitan *photovoltaic* pukul 12.00 WIB, daya yang diperoleh pada jam berikutnya akan semakin menurun hingga pukul 18.00 WIB dan berulang pada hari berikutnya, pada jam 19.00 WIB hingga 05.00 WIB *photovoltaic* tidak mendapatkan radiasi matahari karena tidak adanya sinar dari matahari.



Gambar 4.2 Karakteristik temperatur

Temperatur merupakan hal yang sangat penting dalam potovoltaic, karakteristik suhu dari matahari juga berperan penting dalam mempengaruhinya keluaran daya dari *photovoltaic*. Gambar 4.2 merupakan karakteristik suhu dari modul *photovoltaic* yang diperoleh, pada grafik dapat dilihat bahwa perubahan suhu tidak mengalami perubahan yang signifikan, akan tetapi pada saat di malam hari suhu yang didapatkan *photovoltaic* akan menurun kurang dari 30°C, sedangkan pada saat siang hari suhu lebih dari 30°C.

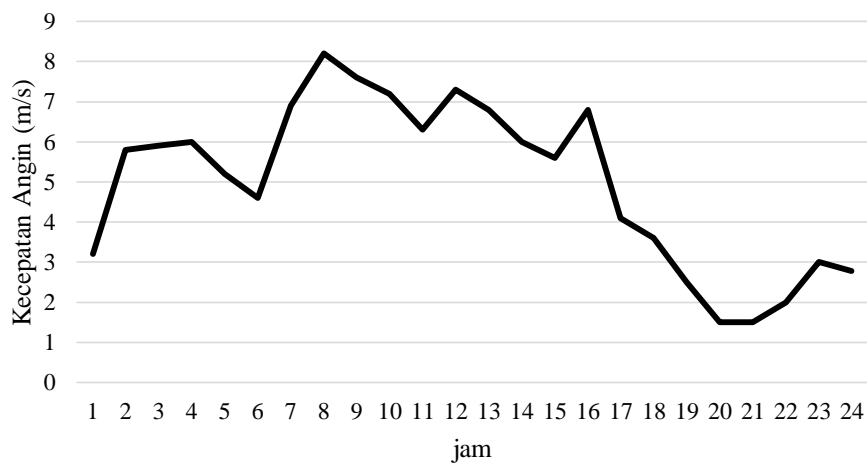
Setelah didapatkan karakteristik radiasi dan temperatur pada saat yang sama, maka dengan menggunakan persamaan (2.1) dapat diketahui berapa besar daya yang dibangkitkan oleh *photovoltaic*. Gambar 4.3 menunjukkan daya yang dibangkitkan oleh *photovoltaic*.



Gambar 4.3 Output daya *Photovoltaic*

4.1.2 *Wind Turbine*

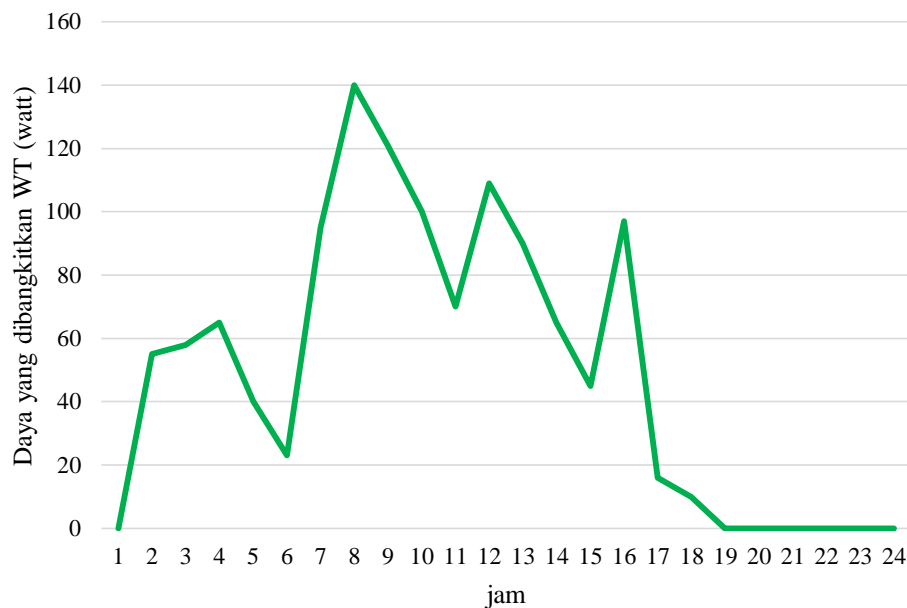
Wind turbine (WT) pada penelitian ini menggunakan AIR403, yang memiliki rating daya sebesar 130 watt pada tiap unit wind turbinnya. Wind turbin dikelompokkan menjadi dua grup dengan jumlah pembagian yang seimbang, untuk memberikan unit pembangkitan yang tersebar dan merata. Wind turbin grup satu di tempatkan untuk mensuplai bus 2 sebanyak 250 unit dan *wind turbine* grup dua di tempatkan pada bus 5 sebanyak 250 unit.



Gambar 4.4 karakteristik kecepatan angin

Dari karakteristik kecepatan angin pada Gambar 4.3 dapat di olah menjadi data daya keluaran *wind turbine*, data angin di dapat dengan merujuk data dari jurnal (Bo, 2013). Data keluaran dari *wind turbine* sangat bervariasi karena kecepatan angin yang berubah ubah dan tidak dapat di prediksi.

Kecepatan angin cut-in dari *wind turbine* yang digunakan pada penelitian sebesar 3 m/s. Cut in merupakan kecepatan minimal angin yang berhembus melewati *wind turbine*, jika kecepatan putar *wind turbine* kurang dari 3 m/s maka *wind turbine* tidak mampu mengeluarkan daya.



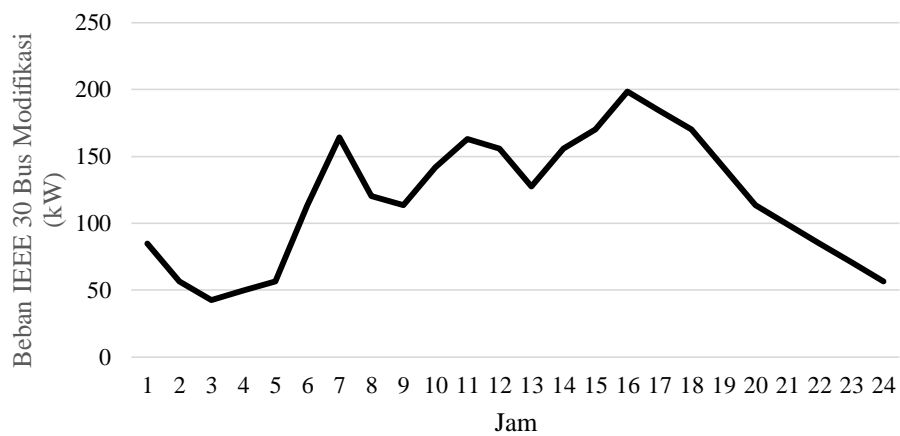
Gambar 4.5 Output daya *Wind Turbine*

4.2 Karakteristik Beban

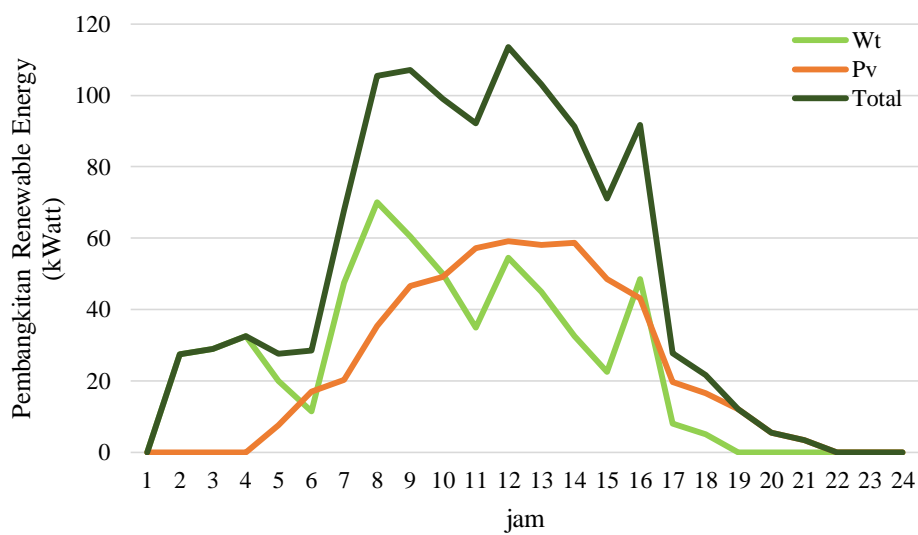
Penelitian ini menggunakan data beban IEEE 30 bus, dengan beban data yang telah dimodifikasi pada tiap busnya dan disesuaikan dengan skala kapasitas beban, sehingga seolah-olah sistem berjalan selama 24 jam. Data beban yang dibuat selama 24 jam pada sistem ditunjukkan oleh tabel 4.1, dan dapat diketahui karakteristik grafik beban yang ditunjukkan pada gambar 4.6

Tabel 4.1 Beban IEEE 30 Bus 24 jam (modifikasi)

Pukul	Beban(kW)	Pukul	Beban (kW)	Pukul	Beban (kW)
01:00	85,020	09:00	113,360	17:00	184,210
02:00	56,680	10:00	141,700	18:00	170,040
03:00	42,510	11:00	162,955	19:00	141,700
04:00	49,595	12:00	155,870	20:00	113,360
05:00	56,680	13:00	127,530	21:00	99,190
06:00	113,360	14:00	155,870	22:00	85,020
07:00	164,372	15:00	170,040	23:00	70,850
08:00	120,445	16:00	198,380	00:00	56,680



Gambar 4.6 Karakteristik beban microgrid selama 24 jam



Gambar 4.7 Output daya total dari *renewable energy*

Dari tabel 4.1 dan gambar 4.6 dapat diketahui bahwa beban puncak terjadi pada pukul 16.00 dengan beban tertinggi 198 kW, sedangkan peak pembangkitan renewable yang tertinggi didapatkan hingga 400 kW seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.6 akan tetapi memiliki output yang tidak konstan. Apabila *renewable energy* tidak mampu memenuhi kebutuhan beban, maka harus ada sumber daya lain yang digunakan untuk mensuplai daya ke beban.

4.3 Parameter Pembangkit

Photovoltaic, *wind turbine*, dan baterai merupakan pembangkit yang tidak membutuhkan biaya bahan bakar untuk membangkitkan daya akan tetapi membutuhkan perawatan yang handal. Fungsi biaya dari ketiga pembangkitan ini diperoleh dari biaya investasi dan biaya operasional serta perawatan. Parameter-parameter *Photovoltaic*, *wind turbine* dan baterai berfungsi untuk membentuk fungsi biaya yang ditunjukkan oleh tabel 4.2 (Bashir, 2012)

Tabel 4.2 Parameter pembangkit *renewable energy* dan baterai

Parameter	Jenis Pembangkit		
	PV	WT	Baterai
Koefisien annuitization	0,10955	0,10955	0,10955
Umur dari investasi	20	20	20
Biaya investasi (\$)	13,000	29,400,00	2,350
Biaya perawatan (\$)/tahun	20	75	20
Biaya investasi (\$)/kW	156,6265	147	1.175
Biaya perawatan (\$)/kW	0,2409	0,375	0,01
Fungsi biaya	$1444,1P_{pv}$	$3295,67P_{wt}$	$227,43P_{bat}$

Berdasarkan persamaan (2.17) dari Bab 2, nilai a, b, dan c pada fungsi biaya *diesel engine* dapat diketahui dengan datasheet dari *diesel* yang digunakan. Sehingga didapatkan fungsi biaya dari *Diesel engine*, *Wind Turbine*, *Photovoltaic* dan Baterai sebagai berikut:

$$f(P_{diesel}) = 66.6P_{diesel}^2 + 2099.7P_{diesel} + 3899.7 \quad (4.1)$$

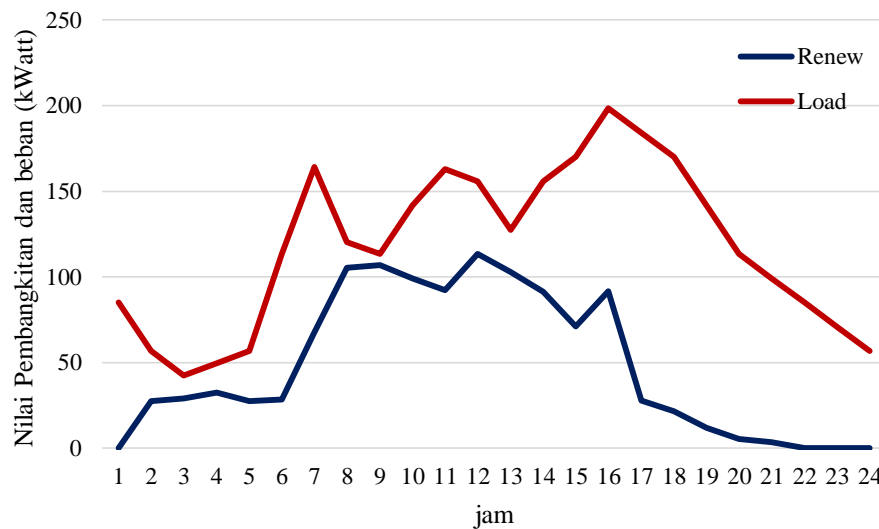
$$f(P_{pv}) = 0 + 1444.1P_{pv} + 0 \quad (4.2)$$

$$f(P_{wt}) = 0 + 3295.67P_{wt} + 0 \quad (4.3)$$

$$f(P_{baterai}) = 0 + 227.43P_{baterai} + 0 \quad (4.4)$$

4.4 Simulasi Pengaturan daya pada Stand Alone Microgrid

Penelitian operasi stand alone menunjukkan perbandingan daya yang dihasilkan oleh *renewable energy* dan beban, beban memiliki perubahan karakteristik kenaikan yang tidak terlalu signifikan yang berbeda dengan *renewable* energi yang sangat besar perubahan kenaikannya. Gambar 4.8 menunjukkan perbandingan karakteristik *renewable energy* dengan beban.



Gambar 4.8 Output daya dari *renewable energy* dan beban selama 24 jam

Penyelesaian operasi optimum pada stand alone microgrid akan disimulasikan dalam dua studi kasus. Studi kasus pertama dengan penyelesaian operasi optimum pada saat kondisi inisialisasi SOC dalam kondisi full charging (SOC = 1). Studi kasus kedua pada saat kondisi inisialisasi SOC dalam kondisi tidak full charging (SOC < 1). Dalam dua studi kasus tersebut akan menunjukkan peran

energy storage pada saat *renewable energy* tidak dapat mensuplai daya secara keseluruhan, dan juga akan dapat dilihat *diesel engine* sebagai energi cadangan pada sistem microgrid.

4.4.1 Studi Kasus I

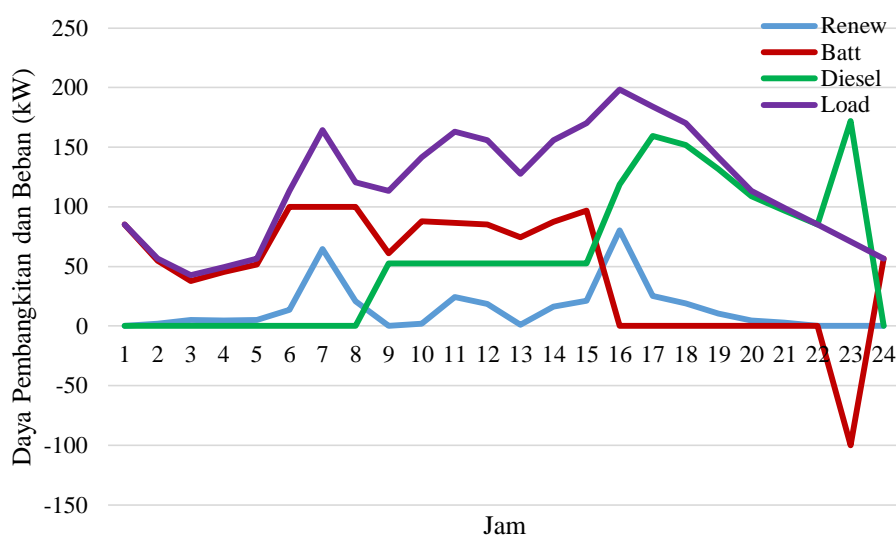
Studi kasus ini merupakan kondisi saat inisialisasi SOC baterai pada saat full charge dimulai pukul 01.00 WIB sampai dengan pukul 24.00 WIB. Perbandingan daya beban dan daya *renewable energy* ditunjukkan oleh gambar 4.9, gambar tersebut berfungsi sebagai acuan dari aktif dari baterai dan tidaknya baterai serta *diesel*.

Tabel 4.3 Status ON dan OFF pembangkitan pada study case I

Pukul	DG 1	WT 1	WT 2	DG 2	BAT 1	PV 1	PV 2	BAT 2
1:00	0	1	1	0	1	0	0	0
2:00	0	1	1	0	1	0	0	0
3:00	0	1	1	0	1	0	0	0
4:00	0	1	1	0	1	0	0	0
5:00	0	1	1	0	1	1	1	0
6:00	0	1	1	0	1	1	1	0
7:00	0	1	1	0	1	1	1	0
8:00	0	1	1	0	0	1	1	1
9:00	1	1	1	0	0	1	1	1
10:00	1	1	1	0	0	1	1	1
11:00	1	1	1	0	0	1	1	1
12:00	1	1	1	0	0	1	1	1
13:00	1	1	1	0	0	1	1	1
14:00	1	1	1	0	0	1	1	0
15:00	1	1	1	0	0	1	1	0
16:00	1	1	1	0	0	1	1	0
17:00	1	1	1	0	0	1	1	0
18:00	1	1	1	0	0	1	1	0
19:00	1	0	0	0	0	1	1	1
20:00	1	0	0	0	0	1	1	1
21:00	1	1	1	0	0	1	1	0
22:00	1	1	1	0	0	0	0	0
23:00	1	1	1	0	1	0	0	0
0:00	1	1	1	0	1	0	0	0

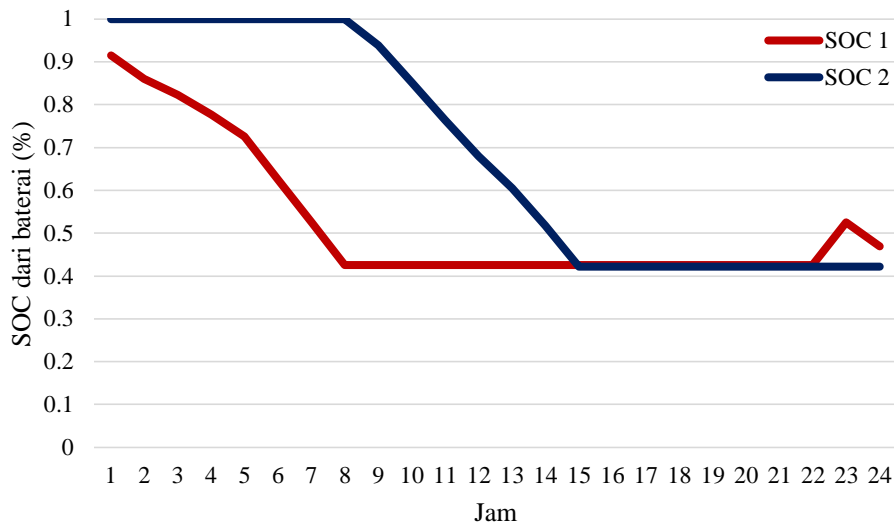
Status ON dan OFF pada pembangkitan ditunjukkan pada tabel 4.3, dengan keterangan 0 = pembangkitan OFF dan 1 = pembangkitan ON.

Baterai atau DG digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban ketika *renewable energy* tidak dapat memenuhi kebutuhan beban. Gambar 4.9 menunjukkan operasi sistem stand alone microgrid pada study case I. Pada gambar 4.9 baterai bernilai negatif ketika dalam kondisi charging. Kondisi negatif menggambarkan bahwa baterai berubah menjadi beban.



Gambar 4.9 Profil operasi sistem stand Alone Microgrid pada study case I

Gambar 4.10 memperlihatkan perubahan state of charge (SOC) baterai 1 dan baterai 2. SOC mengalami penurunan pada saat digunakan sebagai supply daya atau pada saat dalam kondisi discharging, dan mengalami kenaikan pada saat kondisi charging atau saat menjadi beban. Kondisi SOC tidak mengalami perubahan pada saat standby sehingga memiliki nilai yang sama pada SOC jam sebelumnya.



Gambar 4.10 Perubahan SOC 1 pada studi kasus I

Kebutuhan beban dari microgrid mengalami kenaikan dengan kebutuhan daya puncak pada pukul 13.00 hingga pukul 18.00. Sedangkan pada jam tersebut *renewable energy* tidak dalam kondisi yang baik atau tidak dapat meng-cover seluruh kebutuhan suplai daya dan sebagian besar disupply oleh baterai. Penggunaan baterai ditunjukkan dengan penurunan dari SOC seperti yang ditunjukkan oleh gambar 4.10. Besar daya yang digunakan oleh gambar 4.9. Dari kedua gambar tersebut, dapat diketahui bahwa pukul 19.00 baterai sudah tidak mampu mensuplai kebutuhan seluruh beban sehingga DG diaktifkan. Agar baterai tetap dapat digunakan pada 24 jam berikutnya, charging baterai tidak hanya disuplai oleh *renewable energy* tetapi juga DG.

4.4.2 Studi Kasus II

Studi kasus II ini merupakan kondisi saat inisialisasi SOC baterai pada kondisi awal atau 01.00 tidak dalam kondisi full charging ($SOC < 1$). Gambar 4.8 menunjukkan perbandingan daya beban dan daya *renewable energy*. Karakteristik ini akan digunakan sebagai acuan ON dan OFF baterai dan DG. Status ON dan OFF pada pembangkit study case II ditunjukkan oleh tabel 4.4

Status ON dan OFF pada pembangkit ditunjukkan oleh Tabel 4.4 ini sangat dipengaruhi oleh jumlah daya yang dihasilkan oleh *renewable energy* dan

kebutuhan beban. Batrai dan DG digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban jika *renewable energy* tidak dapat memenuhi kebutuhan dari beban. Gambar 4.11 menunjukkan sistem stand alone microgrid pada study case II. Pada gambar 4.11 baterai bernilai negatif akan dianggap sebagai kondisi charging dan status baterai akan berubah baterai menjadi beban.

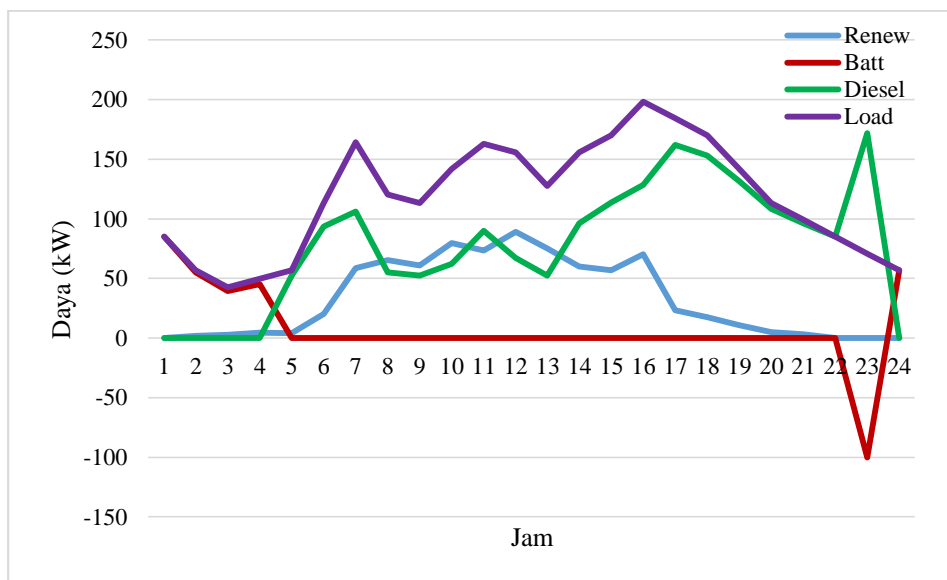
Tabel 4.4 Status ON dan OFF pembangkitan pada study case II

Pukul	DG 1	WT 1	WT 2	DG 2	BAT 1	PV 1	PV 2	BAT 2
1:00	0	1	1	0	1	0	0	0
2:00	0	1	1	0	1	0	0	0
3:00	0	1	1	0	1	0	0	0
4:00	0	1	1	0	0	1	1	0
5:00	1	1	1	0	0	1	1	0
6:00	1	1	1	0	0	1	1	0
7:00	1	1	1	0	0	1	1	0
8:00	1	1	1	0	0	1	1	0
9:00	1	1	1	0	0	1	1	0
10:00	1	1	1	0	0	1	1	0
11:00	1	1	1	0	0	1	1	0
12:00	1	1	1	0	0	1	1	0
13:00	1	1	1	0	0	1	1	0
14:00	1	1	1	0	0	1	1	0
15:00	1	1	1	0	0	1	1	0
16:00	1	1	1	0	0	1	1	0
17:00	1	1	1	0	1	1	1	0
18:00	1	1	1	0	1	1	1	0
19:00	1	1	1	0	0	1	1	0
20:00	1	0	1	0	0	1	1	0
21:00	1	0	1	0	0	1	1	0
22:00	1	1	0	0	0	0	0	0
23:00	1	1	0	0	1	0	0	0
0:00	0	1	0	0	1	0	0	0

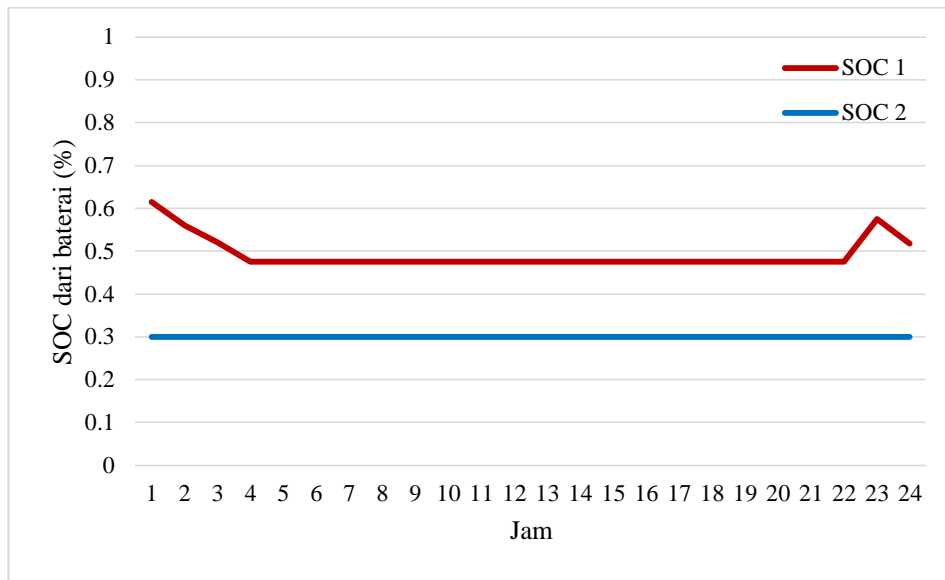
Status ON dan OFF pada pembangkitan ditunjukkan pada tabel 4.3, dengan keterangan 0 = pembangkitan OFF dan 1 = pembangkitan ON. SOC mengalami penurunan ketika digunakan sebagai cupplai daya atau dalam kondisi charging dan kenaikan ketika dalam kondisi charging atau sebagai beban. Sedangkan saat dalam kondisi standby SOC tidak mengalami perubahan sehingga

memiliki nilai yang sama dengan SOC pada jam sebelumnya. Besar SOC inisialisasi pada studi kasus II ini adalah 0.7 untuk baterai I dan 0.3 untuk SOC baterai II.

Kebutuhan beban mengalami kenaikan dengan kebutuhan daya yang paling besar dimulai pada pukul 16.00 hingga pukul 20.00. Sedangkan pada saat itu *renewable energy* tidak dalam kondisi yang maksimal atau kurang dari beban yang diharapkan. Permasalahan kedua pada studi kasus ini adalah kondisi SOC yang kurang dari SOC_{stp} sehingga perlu diisi sebelum digunakan untuk memenuhi kebutuhan beban puncak. Gambar 4.11 menunjukkan pemanfaatan daya *renewable energy* yang melimpah pada pukul 02.00 hingga 17.00 untuk pengisian baterai sehingga pada gambar 4.12 SOC pada waktu tersebut akan mengalami kenaikan hingga melebihi SOC_{stp} . Pengisian pada baterai tidak hanya disuplai oleh *renewable energy*, akan tetapi jika diperlukan maka DG juga akan digunakan untuk mensuplai daya, seperti pada pukul 06.00 hingga 23.00.



Gambar 4.11 Profil operasi sistem stand Alone Microgrid pada study case II



Gambar 4.12 Perubahan SOC pada study case II

Operasi optimum pada sistem ini digunakan untuk meminimalkan biaya pembangkitan dan *life loss cost* baterai. Sistem diisimulasikan seolah-olah telah beroperasi selama 24 jam. Metode *Cuckoo search optimization* (CSO) digunakan dalam penyelesaian operasi optimum pada sistem ini. Sebagai pembanding metode PSO juga digunakan dalam penyelesaian operasi optimum pada sistem ini.

Telah dijelaskan pada sub-bab sebelumnya, studi kasus I merupakan kondisi saat baterai dalam kondisi full charging (SOC=1) dan studi kasus II saat baterai dalam kondisi tidak full charging (SOC<1).

4.4.3 Penyelesaian Multiobjective menggunakan Metode CSO

Penyelesaian multiobjective menggunakan metode Cuckoo Seach, sebagai pembanding seperti yang telah dibahas pada sub bab 4.5. Daya yang dibangkitkan, kebutuhan beban, dan kerugian dari hasil simulasi operasi selama 24 jam ditujukan oleh Tabel 4.7 dan Tabel 4.8 menunjukkan hasil simulasi multionjective menggunakan metode

Tabel 4.5 Daya Pembangkitan, Beban, dan Kerugian 24 Jam pada Studi Kasus I dengan Metode CSO

Jam	Beban		Pembangkitan		Kerugian	
	(kW)	(kVAR)	(kW)	(kVAR)	(kW)	(kVAR)
1:00	85.02	37.86	85.11	48.834	0.114	11.074
2:00	56.68	25.24	56.704	27.226	0.024	1.987
3:00	42.51	18.93	42.522	20.043	0.012	1.113
4:00	49.595	22.085	49.609	23.276	0.014	1.191
5:00	56.68	25.24	56.707	27.652	0.027	2.412
6:00	113.36	50.48	113.508	64.646	0.152	14.19
7:00	164.372	73.196	164.525	88.397	0.159	15.234
8:00	120.445	53.635	120.529	61.106	0.085	7.479
9:00	113.36	50.48	113.408	55.276	0.049	4.8
10:00	141.7	63.1	141.863	79.01	0.169	15.941
11:00	162.955	72.565	163.157	92.354	0.21	19.836
12:00	155.87	69.41	156.17	80.375	0.301	10.972
13:00	127.53	56.79	127.763	64.272	0.234	7.487
14:00	155.87	69.41	156.226	82.47	0.356	13.067
15:00	170.04	75.72	170.436	88.09	0.396	12.378
16:00	198.38	88.34	198.988	110.216	0.609	21.9
17:00	184.21	82.03	184.525	95.854	0.316	13.835
18:00	170.04	75.72	170.299	86.595	0.26	10.881
19:00	141.7	63.1	141.9	69.501	0.2	6.411
20:00	113.36	50.48	113.594	57.626	0.236	7.161
21:00	99.19	44.17	99.36	49.409	0.171	5.247
22:00	85.02	37.86	85.174	43.156	0.155	5.306
23:00	170.85	31.55	171.363	58.875	0.533	27.535
0:00	56.68	25.24	56.724	29.942	0.049	4.718

Tabel 4.6 Penyelesaian Multiobjective Menggunakan Metode CSO pada Studi Kasus I

Jam	Kerugian Umur Baterai (%)	Biaya Pembangkitan (\$)	<i>Life Loss Cost</i> (\$)	Fitness Value
1:00	0.29	2.088913	0.77609	3.731
2:00	0.103	8.081908	0.274856	1.403
3:00	0.048	8.188038	0.12914	0.708
4:00	0.062	9.13785	0.166422	0.897
5:00	0.109	7.027998	0.291212	1.469
6:00	0.346	6.887649	0.925775	4.499
7:00	0.446	15.776	1.193827	5.879
8:00	0.15	20.88691	0.401649	2.151
9:00	0.029	21.21952	0.077857	0.608
10:00	0.203	19.47645	0.544172	2.816
11:00	0.358	17.00757	0.959645	4.774
12:00	0	44.7842	0	0.498
13:00	0	38.53282	0	0.428
14:00	0	51.8915	0	0.577
15:00	0	64.24624	0	0.714
16:00	0	80.97916	0	0.9
17:00	0	93.20459	0	1.036
18:00	0	86.08222	0	0.957
19:00	0	71.83429	0	0.798
20:00	0	55.43487	0	0.616
21:00	0	49.10279	0	0.546
22:00	0	43.34055	0	0.482
23:00	0.466	36.22607	1.248059	6.365
0:00	0.277	1.592325	0.741103	3.558

Tabel 4.7 Daya Pembangkitan, Beban, dan Kerugian 24 Jam pada Studi Kasus II dengan Metode CSO

Jam	Beban		Pembangkitan		Kerugian	
	(kW)	(kVAR)	(kW)	(kVAR)	(kW)	(kVAR)
1:00	85.02	37.86	85.11	48.834	0.114	11.074
2:00	56.68	25.24	56.695	26.532	0.015	1.292
3:00	42.51	18.93	42.526	20.376	0.016	1.447
4:00	49.595	22.085	49.604	22.841	0.009	0.756
5:00	56.68	25.24	56.712	28.273	0.032	3.034
6:00	113.36	50.48	113.496	63.606	0.14	13.147
7:00	164.372	73.196	164.825	91.514	0.454	18.358
8:00	120.445	53.635	120.598	60.492	0.153	6.865
9:00	113.36	50.48	113.498	56.168	0.138	5.693
10:00	141.7	63.1	142.041	76.685	0.342	13.606
11:00	162.955	72.565	163.275	85.729	0.321	13.187
12:00	155.87	69.41	156.288	86.547	0.419	17.173
13:00	127.53	56.79	127.718	64.525	0.189	7.745
14:00	155.87	69.41	156.291	85.571	0.422	16.186
15:00	170.04	75.72	170.532	94.947	0.493	19.261
16:00	198.38	88.34	199.242	123.059	0.868	34.847
17:00	184.21	82.03	184.593	99.017	0.385	17.018
18:00	170.04	75.72	170.383	90.836	0.344	15.14
19:00	141.7	63.1	142.001	76.46	0.303	13.414
20:00	113.36	50.48	113.705	64.196	0.354	13.781
21:00	99.19	44.17	99.46	54.893	0.275	10.762
22:00	85.02	37.86	85.25	46.929	0.238	9.128
23:00	170.85	31.55	171.838	81.669	0.989	50.131
0:00	56.68	25.24	56.724	29.942	0.049	4.718

Tabel 4.8 Penyelesaian Multiobjective Menggunakan Metode CSO pada Studi Kasus II

Jam	Kerugian Umur Baterai (%)	Biaya Pembangkitan (\$)	<i>Life Loss Cost</i> (\$)	Fitness Value
1:00	0.388	2.088912923	1.039139	4.988
2:00	0.136	8.081908692	0.365044	1.834
3:00	0.064	8.188029154	0.170891	0.907
4:00	0.082	9.138024385	0.219249	1.149
5:00	0.143	7.031163615	0.382805	1.907
6:00	0.443	6.892943077	1.187334	5.749
7:00	0	63.44172315	0	0.705
8:00	0	39.16910138	0	0.435
9:00	0	35.78977146	0	0.398
10:00	0	42.60993908	0	0.474
11:00	0	55.96865731	0	0.622
12:00	0	46.14651746	0	0.513
13:00	0	37.74716177	0	0.42
14:00	0	49.54174585	0	0.551
15:00	0	64.25711046	0	0.714
16:00	0	75.52341223	0	0.839
17:00	0	83.66980338	0	0.93
18:00	0	78.33090577	0	0.871
19:00	0	67.08887731	0	0.746
20:00	0	55.43282654	0	0.616
21:00	0	49.22388677	0	0.547
22:00	0	43.45616154	0	0.483
23:00	0.484	86.98509085	1.296933	7.163
0:00	0.287	1.592324846	0.768827	3.691

Tabel 4.9 Perbandingan Hasil Simulasi *Multiobjective* Studi Kasus I dan II metode CSO

Metode	SOC = 1		SOC < 1	
	kW	kVAR	kW	kVAR
Pembangkitan	2940.1640	1504.2021	2942.4033	1579.6404
Beban	2935.4170	1262.6310	2935.4170	1262.6310
Kerugian	4.8307	242.1559	7.0619	317.7624
Kerugian Umur Baterai	0,29%		0,20%	
Biaya Pembangkitan	\$ 853.0304		\$ 1017.396	
<i>Life Loss Cost</i>	\$ 7.72		\$ 5.43	
<i>Fitness Value</i>	46.4105		37.2512	

4.4.4 Penyelesaian Multiobjective menggunakan Metode PSO

Penyelesaian multiobjective menggunakan metode PSO digunakan sebagai pembanding metode utama dalam penelitian ini, yaitu metode *Cuckoo Search Optimization*. Daya yang dibangkitkan, kebutuhan beban, dan kerugian dari hasil operasi sistem selama 24 jam yang ditunjukkan oleh tabel 4.5, sedangkan Tabel 4.6 menunjukkan hasil simulasi multiobjective menggunakan PSO pada studi kasus I.

Tabel 4.10 Daya Pembangkitan, Beban, dan Kerugian 24 Jam pada Studi Kasus I dengan Metode PSO

Jam	Beban		Pembangkitan		Kerugian	
	(kW)	(kVAR)	(kW)	(kVAR)	(kW)	(kVAR)
1:00	85.02	37.86	85.11	48.834	0.114	11.074
2:00	56.68	25.24	56.72	28.94	0.041	3.702
3:00	42.51	18.93	42.529	20.638	0.019	1.708
4:00	49.595	22.085	49.622	24.558	0.027	2.474
5:00	56.68	25.24	56.718	28.732	0.038	3.493
6:00	113.36	50.48	113.508	64.436	0.152	13.979
7:00	164.372	73.196	164.518	88.166	0.152	15.003
8:00	120.445	53.635	120.588	67.579	0.148	13.968
9:00	113.36	50.48	113.579	56.994	0.219	6.517
10:00	141.7	63.1	142.074	74.41	0.374	11.321
11:00	162.955	72.565	163.353	85.897	0.399	13.349
12:00	155.87	69.41	156.252	81.467	0.382	12.072
13:00	127.53	56.79	127.821	65.494	0.292	8.711
14:00	155.87	69.41	156.285	82.666	0.415	13.274
15:00	170.04	75.72	170.506	91.129	0.467	15.433
16:00	198.38	88.34	198.875	108.701	0.498	20.42
17:00	184.21	82.03	184.935	109.766	0.728	27.803
18:00	170.04	75.72	170.681	100.192	0.644	24.522
19:00	141.7	63.1	142.204	83.267	0.525	20.319
20:00	113.36	50.48	113.698	63.884	0.347	13.467
21:00	99.19	44.17	99.455	54.651	0.27	10.519
22:00	85.02	37.86	85.25	46.929	0.238	9.128
23:00	170.85	31.55	171.838	81.669	0.989	50.131
0:00	56.68	25.24	56.724	29.942	0.049	4.718

Tabel 4.11 Penyelesaian Multiobjective Menggunakan Metode PSO pada Studi Kasus I

Jam	Kerugian Umur Baterai (%)	Biaya Pembangkitan (\$)	<i>Life Loss Cost</i> (\$)	Fitness Value
1:00	0.29	2.088913	0.77609	1.998
2:00	0.199	2.013494	0.532034	1.926
3:00	0.141	2.504662	0.378823	2.396
4:00	0.178	2.51656	0.476084	2.407
5:00	0.214	2.306988	0.572535	2.207
6:00	0.452	4.184241	1.210045	4.003
7:00	0.49	15.81295	1.313089	15.127
8:00	0.529	5.931266	1.416085	5.674
9:00	0	28.06091	0.541842	26.843
10:00	0	28.72931	0.857863	27.483
11:00	0	31.50802	0.921305	30.141
12:00	0	31.34987	0.981448	29.989
13:00	0	28.39589	0.915758	27.164
14:00	0	30.70644	1.152712	29.374
15:00	0	31.15563	1.374359	29.804
16:00	0	75.29491	0	72.027
17:00	0	84.48945	0	80.823
18:00	0	79.49743	0	76.048
19:00	0	68.03207	0	65.08
20:00	0	55.86535	0	53.441
21:00	0	49.55224	0	47.402
22:00	0	43.45616	0	41.57
23:00	0.49	86.98509	1.313087	83.21
0:00	0.29	1.592325	0.77799	1.523

Sebagai pembandingan studi kasus I, ditampilkan pula penyelesaian multiobjective pada kasus II dengan menggunakan metode yang sama, yaitu PSO. Tabel 4.7 menunjukan daya beban, pembangkitn dan kerugian selama 24 jam.

Tabel 4.12 Daya Pembangkitan, Beban, dan Kerugian 24 Jam pada Studi Kasus II dengan Metode PSO

Jam	Beban		Pembangkitan		Kerugian	
	(kW)	(kVAR)	(kW)	(kVAR)	(kW)	(kVAR)
1:00	85.02	37.86	85.11	48.834	0.114	11.074
2:00	56.68	25.24	56.721	28.952	0.041	3.714
3:00	42.51	18.93	42.53	20.815	0.02	1.886
4:00	49.595	22.085	49.623	24.582	0.028	2.498
5:00	56.68	25.24	56.754	28.068	0.074	2.829
6:00	113.36	50.48	113.617	60.236	0.257	9.764
7:00	164.372	73.196	164.759	88.997	0.388	15.834
8:00	120.445	53.635	120.608	60.799	0.163	7.171
9:00	113.36	50.48	113.47	55.504	0.11	5.029
10:00	141.7	63.1	141.869	71.623	0.17	8.538
11:00	162.955	72.565	163.258	86.463	0.304	13.926
12:00	155.87	69.41	156.093	79.972	0.224	10.581
13:00	127.53	56.79	127.652	63.525	0.122	6.744
14:00	155.87	69.41	156.215	84.329	0.346	14.943
15:00	170.04	75.72	170.476	93.571	0.437	17.884
16:00	198.38	88.34	198.934	110.752	0.557	22.475
17:00	184.21	82.03	184.952	110.362	0.745	28.4
18:00	170.04	75.72	170.695	100.74	0.658	25.073
19:00	141.7	63.1	142.203	83.206	0.523	20.257
20:00	113.36	50.48	113.696	63.817	0.345	13.4
21:00	99.19	44.17	99.453	54.583	0.268	10.45
22:00	85.02	37.86	85.25	46.929	0.238	9.128
23:00	170.85	31.55	171.838	81.669	0.989	50.131
0:00	56.68	25.24	56.724	29.942	0.049	4.718

Tabel 4.13 Penyelesaian Multiobjective Menggunakan Metode PSO pada Studi Kasus II

Jam	Kerugian Umur Baterai (%)	Biaya Pembangkitan (\$)	<i>Life Loss Cost</i> (\$)	Fitness Value
1:00	0.388	2.088913	1.039139	1.998
2:00	0.262	2.013494	0.70303	1.906
3:00	0.195	2.504662	0.522557	1.94
4:00	0.231	2.51656	0.617699	2.392
5:00	0	27.55055	0	26.427
6:00	0	50.86396	0	48.534
7:00	0	66.85283	0	63.484
8:00	0	39.73878	0	38.588
9:00	0	36.60871	0	36.606
10:00	0	45.82699	0	45.344
11:00	0	56.79435	0	55.847
12:00	0	52.08338	0	47.858
13:00	0	39.25481	0	37.307
14:00	0	52.00951	0	54.465
15:00	0	64.53928	0	63.046
16:00	0	77.6013	0	74.812
17:00	0	85.30932	0	81.531
18:00	0	80.42644	0	76.692
19:00	0	67.37099	0	64.983
20:00	0	55.74864	0	53.319
21:00	0	49.43881	0	47.27
22:00	0	43.45616	0	41.57
23:00	0.471	86.98509	1.262059	83.21
0:00	0.28	1.592325	0.749044	1.523

Tabel 4.14 Perbandingan Hasil Simulasi *Multiobjective* Studi Kasus I dan II metode PSO

Metode	SOC = 1		SOC < 1	
	kW	kVAR	kW	kVAR
Pembangkitan	2942.8435	1588.9427	2942.4989	1578.2732
Beban	2935.4170	1262.6310	2935.4170	1262.6310
Kerugian	7.5257	327.1045	7.1689	316.4479
Kerugian Umur Baterai	0,58%		0,18%	
Biaya Pembangkitan	\$ 792.0302		\$ 1098.313	
<i>Life Loss Cost</i>	\$ 15.51115		\$ 4.893528	
<i>Fitness Value</i>	757.6600		1050.6516	

4.4.5 Perbandingan Hasil Penyelesaian *Multiobjective* menggunakan metode PSO dan CSO

Perbandingan dari hasil penyelesaian *multiobjective* untuk meminimalkan biaya pembangkitan dan kerugian umur baterai pada studi kasus I ditunjukkan pada Tabel

Tabel 4.15 Perbandingan Hasil Simulasi *Multiobjective* Studi Kasus I

Metode	CSO		PSO	
Keterangan:	kW	kVAR	kW	kVAR
Pembangkitan	2940.1640	1504.2021	2942.8435	1588.9427
Beban	2935.4170	1262.6310	2935.4170	1262.6310
Kerugian	4.8307	242.1559	7.5257	327.1045
Kerugian Umur Baterai	0,29%		0,58%	
Biaya Pembangkitan	\$ 853.0304		\$ 792.0302	
<i>Life Loss Cost</i>	\$ 7.72		\$ 15.51115	
<i>Fitness Value</i>	46.4105		757.6600	

Tabel 4.16 Perbandingan Hasil Simulasi *Multiobjective* Studi Kasus II

Metode	CSO		PSO	
Keterangan:	kW	kVAR	kW	kVAR
Pembangkitan	2942.4033	1579.6404	2942.4989	1578.2732
Beban	2935.4170	1262.6310	2935.4170	1262.6310
Kerugian	7.0619	317.7624	7.1689	316.4479
Kerugian Umur Baterai	0,20%		0,18%	
Biaya Pembangkitan	\$ 1017.396		\$ 1098.313	
<i>Life Loss Cost</i>	\$ 5.43		\$ 4.893528	
<i>Fitness Value</i>	37.2512		1050.6516	

Tabel 4.15 dan 4.16 menunjukkan bahwa penyelesaian operasi optimum menggunakan metode Cuckoo search memiliki *fitness value* yang lebih baik bila dibandingkan dengan PSO

BAB 5

KESIMPULAN

Dari hasil analisis operasi optimum stand alone microgrid dengan mempertimbangkan karakteristik umur baterai menggunakan metode *Cuckoo Search Optimization* (CSO), dapat diambil kesimpulan:

1. State Of Charge sangat berpengaruh pada baterai jika diberikan batasan, pada kondisi charge maupun discharging sehingga umur baterai dapat diminimalkan.
2. Analisis operasi optimum dengan membandingkan Kecerdasan buatan PSO dan CSO dapat diketahui biaya pembangkitanya serta rugi umur baterainya. Pada studi kasus I, CSO didapatkan rugi umur baterai sebesar 0,29% dengan biaya *life loss cost* sebesar \$ 7,72. Sedangkan PSO dalam studi kasus I didapatkan rugi umur baterai sebesar 0,58% dengan biaya *life loss cost* sebesar \$ 15,51.
3. Hasil Operasi optimum menggunakan metode CSO telah dibandingkan dengan PSO. Dari hasil tersebut diketahui bahwa metode Cuckoo Search memiliki nilai pembangkitan yang lebih rendah bila dibandingkan dengan PSO. Pada studi kasus I nilai biaya pembangkitan dengan menggunakan metode CSO sebesar \$ 853.0304, sedangkan nilai pembangkitan dengan menggunakan metode PSO sebesar \$ 792.0302. Pada studi kasus II, nilai dari biaya pembangkitan dengan menggunakan metode CSO sebesar \$ 1017.396, sedangkan nilai biaya pembangkitan menggunakan PSO sebesar \$ 1098.313.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Allen J. Wood, Power Generation Operation and Control, second edisi tahun 1996
- A.F. Aprilely, Penangsang. O., Soeprijanto .A., “Operasi Optimum Stand-Alone Microgrid Menggunakan Metode Self Adaptive Modified Firefly Algorithm Dengan Mempertimbangkan Karakteristik Umur Baterai”, Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS, Surabaya, 2015
- Bo Zhao, Xuesong Zhang, Jian Chen, Caisheng Wang, dan Li Guo, “Operation Optimization of Standalone *Microgrids* Considering Lifetime Characteristics of *Battery energy storage system*”, *IEEE Transactions On Power Systems*, Vol. 4, No. 4, October 2013
- D.V.Yamille., K.V.Ganesh., Mohagheghi, Salman.,J.C. Hernandez.,G.H. Ronald.,”*Particle Swarm Optimization* : Basic Concepts Variants and Application in Power System”, *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Vol.12, No.2, April 2008
- Emiliano Dall’Anese, HaoZhu, Georgios B. Gipsosakis, Fellow. "Distributed *Optimal power flow* for Smart *Microgrids*". *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol. 4, No. 3, September 2013
- Haihua Zhou, Tanmoy Bhattacharya, Duong Tran, Tuck Sing Terence Siew, Ashwin M. Khambadkone, “Composite *Energy Storage* System Involving *Battery* and *Ultracapacitor* With Dynamic *Energy* Management in *Microgrid* Applications”, *IEEE Transactions On Power Electronics*, Vol. 26, No. 3, March 2011
- M. Bashir, J. Sadeh, “Size Optimization of New Hybrid Stand-alone Renewable Energy System Considering a Reliability Index”, IEEE. 2012
- M.F. Rahman, Penangsang. O., Soeprijanto .A., “Optimisasi Pembebanan Pembangkit (economic dispatch) Pada sistem 500Kv Jawa-Bali Menggunakan *Particle Swarm Optimization* dengan Mempertimbangkan Kapasitas Transmisi”, Jurusan Teknik Elektro FTI-ITS, Surabaya, 2009
- Mohamed, Faisal A. "Microgrid modelling and online management." (2008).

- Noel Augustine, Sindhu Suresh, Prajakta Moghe, Kashif Sheikh, "Economic Dispatch for a Microgrid Considering Renewable Energy Cost Functions", IEEE. 2011
- Norberto Fueyo, YosuneSanz, Marcos Rodrigues, Carlos Montanes, Cesar Dopazo, "The use of cost-generation curves for the analysis of wind electricity costs in Spain", ELSEVIER, Applied Energy. Cost Functions. 2010
- Priyanto, Yun Tonce Kusuma. "Combine Active Reactive Dispatch Multiobjective Optimal Power Flow Using Firefly Algorithm", Master Theses of Electrical Engineering, RTE 621.319 Pri p, 2013
- Saadat,Hadi, "Power System Analysis",Mc.Graw Hill, Singapore. 2004
- Sulistijono, Primaditya. "Emission dan Economic Dispatch pada Sistem Kelistrikan Micro Grid Menggunakan Multiobjective Genetic Algorithm Optimization". ITS surabaya. 2013
- Taher Niknam, Rasoul Azizipanah-Abarghooee, and Alireza Roosta, "Reserve Constrained Dynamic Economic Dispatch: A New Fast *Self-adaptive modified firefly algorithm*", *IEEE Systems Journal*, Vol. 6, No. 4, December 2012
- Takehiko Kojima, Yoshifumi Fukuya, "Microgrid System for Isolated Islands", feature issue: Smart Community, Vol. 57 No. 4 FUJI ELECTRIC REVIEW
- Tianpei Zhou, Wei Sun, "Optimization of Battery–Supercapacitor Hybrid Energy Storage Station in Wind/Solar Generation System", *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, Vol. 5, No. 2, April 2014
- Tomaso Erseghe, Stefano Tomasin, "Power Flow Optimization for Smart *Microgrids* by SDP Relaxation on Linear Networks", *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol. 4, No. 2, June 2013
- Xin-She Yang, Firefly Algorithm for Multimodal Optimization, in: stochastic Algorithms: foundations and Applications, SAGA 2009, Lecture Notes in Computer sciences, Vol. 5792,pp. 169-178 (2009).
- Ye Yang, HuiLi, Andreas Aichhorn, Jianping Zheng, and Michael Greenleaf. "Sizing Strategy of Distributed *Battery Storage* System With High Penetration of *Photovoltaic* for Voltage Regulation and Peak Load Shaving". *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol. 5, No. 2, March 2014

Yoash Levron, Josep M. Guerrero, “*Optimal power flow in Microgrids With Energy Storage*”, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 28, No. 3, August 2013

Zhixin Miao, LingXu, Vahid R. Disfani, Lingling Fan. "An SOC-Based *Battery* Management System for *Microgrids*". *IEEE Transactions on Smart Grid*, Vol. 5, No. 2, March 2014